

Aruanne

Riikliku keskkonnaseire programmi
kompleksseire allprogrammi seiretöö

KOMPLEKSSEIRE SAAREJÄRVEL JA
VILSANDIL 2023



Riikliku keskkonnaseire programmi
kompleksseire allprogrammi seiretöö

Kompleksseire Saarejärvel ja Vilsandil 2023. a

Lõpparuanne

Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ 2024

Kinnitas:

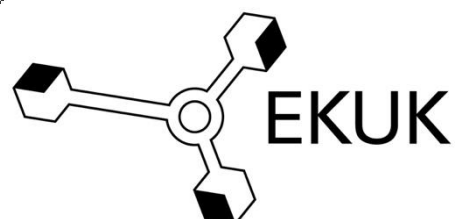
Katri Voro

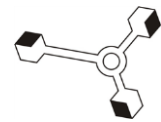
Keskkonna- ja analüütilise keemia osakonna juhataja

Aruande koostaja:

Kairi Lõhmus

Tartu osakonna spetsialist





2023. aasta seiretööd kompleksseires viidi läbi järgmise lepingu raames: halduslepingu nr 1-6/19/5 eraldise kasutamise lepingu nr 4-4/23/5 Lisa 8 alusel.

Seiret läbiviiv organisatsioon: OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskus (EKUK)

Vastutav täitja: Katri Vooro

E-mail: katri.vooro@klab.ee



Sisukord

Tabelid.....	3
Joonised	4
1 Sissejuhatus.....	6
2 Metoodika.....	9
3 Aasta meteoroloogiline iseloomustus ja sademete keemia	10
3.1 Meteoroloogiline iseloomustus	10
3.2 Avamaa sademed.....	12
3.3 Võravoolu keemia	19
3.4 Tüvevoolu keemia.....	27
3.5 Mullavee keemia.....	33
3.6 Vooluvee keemia.....	42
4 Bioindikatsioon – Bioloogilised allprogrammid	45
4.1 Okkakeemia.....	45
4.2 Varise keemia.....	48
4.3 Mikroobne lagunemine.....	50
5 Kokkuvõte	51



Tabelid

Tabel 1. Põhjus-tagajärg seosed, mille kohta kompleksseire programm andmeid kogub.	7
Tabel 2. Kompleksseire alad.	8
Tabel 3. Kompleksseire programmid (kursiivis täiendavad allprogrammid) ja allprogrammide täitmine Saarejärve ja Vilsandi seirealadel 2023. aastal.	9
Tabel 4. Saarejärve avamaa sademetes määratavate näitajate sisaldused, aasta keskmised ja depositsioon.	13
Tabel 5. Saarejärve avamaa sademete üldfosfori (P-üld), üldlämmastiku (N-üld), lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ning raskmetallide sisaldused.	13
Tabel 6. Vilsandi avamaa sademetes määratavate näitajate sisaldused, aasta keskmised ja depositsiooni kogus.	14
Tabel 7. Vilsandi avamaa sademete üldfosfori (P-üld), üldlämmastiku (N-üld), lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ning raskmetallide* sisaldused.	15
Tabel 8. Saarejärve ja Vilsandi avamaa sademete olulisemad trendid aastatel 2014-2023.	17
Tabel 9. Saarejärve võravee analüüsitulemused 2023. aastal.	20
Tabel 10. Saarejärve võravee üldfosfori (P-üld), -lämmastiku (N-üld), lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ning raskmetallide sisaldused 2023. aastal.	20
Tabel 11. Vilsandi võravee analüüsitulemused 2023. aastal.	21
Tabel 12. Vilsandi võravee üldfosfori (P-üld), -lämmastiku (N-üld), lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ja raskmetallide sisaldused 2023. aastal.	22
Tabel 13. Saarejärve ja Vilsandi võravee olulisemad trendid aastatel 2014-2023.	25
Tabel 14. Saarejärve tüvevees analüüsitud ühendite kontsentratsioonid 2023. aastal.	28
Tabel 15. Saarejärve tüvevees analüüsitud metallide, lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ja üldfosfori kontsentratsioonid 2023. aastal.	28
Tabel 16. Vilsandi tüvevees analüüsitud ühendite kontsentratsioonid 2023. aastal.	29
Tabel 17. Vilsandi tüvevees analüüsitud metallide, lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ja üldfosfori kontsentratsioonid 2023. aastal.	30
Tabel 18. Saarejärve ja Vilsandi võravee olulisemad trendid aastatel 2014-2023.	32
Tabel 19. Saarejärve 10 cm sügavusel mullavees analüüsitud näitajate kontsentratsioonid 2023. aastal.	33
Tabel 20. Metallide, üldlämmastiku ja -fosfori sisaldused Saarejärvel 10 cm sügavusel mullavees.	34
Tabel 21. Saarejärve 40 cm sügavusel mullavees analüüsitud näitajate kontsentratsioonid 2023. aastal.	35
Tabel 22. Metallide, üldlämmastiku ja -fosfori sisaldused Saarejärvel 40 cm sügavusel mullavees.	35
Tabel 23. Vilsandi 17 cm sügavusel mullavees analüüsitud ainete kontsentratsioonid 2023. aastal.	36
Tabel 24. Metallide, üldlämmastiku ja üldfosfori sisaldused Vilsandil 17 cm sügavusel mullavees.	37
Tabel 25. Vilsandi 35 cm sügavusel mullavees analüüsitud näitajate kontsentratsioonid 2023. aastal.	38



Tabel 26. Metallide, üldlämmastiku ja üldfosfori sisaldused Vilsandil 35 cm sügavusel mullavees.	39
Tabel 27. Saarejärve ja Vilsandi mullavee olulisemad trendid aastatel 2014-2023.	41
Tabel 28. Saare järve sissevoolu analüsitavate näitajate kontsentratsioonid 2023. aastal.	43
Tabel 29. Saare järve sissevoolu füüsikalised näitajad ja lahustunud silikaadid (SiO ₂) ning üldalumiiniumi sisaldused 2023. aastal.....	43
Tabel 30. Saare järve sissevoolu raskmetallide sisaldused 2023. aastal. Kaalutud keskmine on arvutatud vastavalt vooluhulgale.....	44
Tabel 31. 1-aastaste ja 2-aastaste männiokaste elementide sisaldus Saarejärvel.	46
Tabel 32. 1-aastaste ning 2-3-aastaste männiokaste elementide sisaldus Vilsandil.	47
Tabel 33. Vilsandi ja Saarejärve varise määratud näitajate sisaldused 2023. aastal.....	49
Tabel 34. Varise okaste ja α-tselluloosiribade massikao % Saarejärve ja Vilsandi kompleksseire aladel 1, 2 ja 3 aasta jooksul.	50

Joonised

Joonis 1. Kompleksseire peamised uurimisvaldkonnad ja nende vahelised seosed.	8
Joonis 2. Saarejärve, Jõgeva ja Vilsandi sademete kogused (mm) 2023. aastal.	11
Joonis 3. Saarejärve ja Vilsandi õhu- ja pinnasetemperatuurid ning Saarejärve sissevoolu temperatuur 2023. aastal.	12
Joonis 4. Üldlämmastiku sisaldused avamaa sademetes 2023. aastal.	16
Joonis 5. Üldfosfori sisaldused avamaa sademetes 2022. ja 2023. aastal.	17
Joonis 6. NO ₃ -N sisaldused aastatel 2014-2023 Saarejärve avamaa sademetes koos trendijoonega.	18
Joonis 7. Mõned olulisemad trendid aastatel 2014-2023 Vilsandi avamaa sademetes.	18
Joonis 8. Võravee ja avamaa sademete kogused kuude kaupa 2023. aastal.....	19
Joonis 9. Kloriidi sisaldused võravees ja avamaa sademetes 2023. aastal.	23
Joonis 10. Kaadmiumi sisaldused avamaa ja võrasademetes 2023. aastal.	23
Joonis 11. Plii sisaldused avamaa ja võrasademetes 2023. aastal.	24
Joonis 12. Nikli sisaldused avamaa ja võrasademetes 2023. aastal.....	24
Joonis 13. Mangaani sisaldus võravees 2023. aastal.	24
Joonis 14. Muutused kaltsiumi sisaldustes Saarejärve võravees.	26
Joonis 15. Olulisemad trendid Vilsandi võravees.	26
Joonis 16. Kaltsiumi, magneesiumi, naatriumi ja kaaliumi sisaldused tüvevees 2023. aastal.....	31
Joonis 17. Muutused üldlämmastiku sisaldustes (mg/l) Saarejärve tüvevees viimastel aastatel. ...	32
Joonis 18. Muutused kaaliumi (mg/l) ja alumiiniumi (µg/l) sisaldustes Vilsandi tüvevees viimastel aastatel.	32
Joonis 19. Mullavee kogus (mm) Saarejärvel ja Vilsandil 2023. aastal.	33
Joonis 20. Kaadmiumi sisaldused mullavees 2023. aastal.....	40



Joonis 21. Nikli sisaldused mullavees 2023. aastal.	40
Joonis 22. Liikuva alumiiniumi sisaldused Saarejärve mullavees 40 cm sügavusel.	41
Joonis 23. Olulisemad trendid Vilsandi mullavees.....	41
Joonis 24. Kaaliumi kontsentratsioonide muutused Saarejärve sissevoolus.....	45
Joonis 25. Naatriumi sisalduste muutused Vilsandi 1-aastastes okastes.	48



1 Sissejuhatus

Kompleksseire eesmärk on jälgida looduslike ökosüsteemide seisundit ja selle pikaajalisi muutusi, arvestades regionaalset varieeruvust ja õhusaastet, eelkõige väävli- ja lämmastikuühendite ning osooni, aga ka püsivate orgaaniliste saasteainete (POS) ja raskmetallide mõju. Tulemusi võrreldakse teiste Euroopa riikide seirejaamade näitajatega, mis võimaldab erinevate riikide seiretulemuste laiemat üldistamist ning sarnaste trendide väljaselgitamist.

Rahvusvaheline kompleksseire programm (*International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems*) algatati Põhjamaade initsiatiivil 1988. aastal piiriülese õhusaaste kauglevi uurimiseks Genfi konventsiooni raames. Eesti ühines Piiriülese õhusaaste kauglevi konventsiooni ning selle protokollidega 19. jaanuaril 2000. aastal (RT II 2000, 4, 25). Nimetatud konventsiooni artikkel 7 raames tehakse koostööd järgmistes valdkondades:

- a. täiustatud mudelid õhusaasteainete piiriülese kauglevi paremaks mõistmiseks;
- b. väävliühendite ja muude õhusaasteainete toime mõju inimese tervisele ja keskkonnale, sealhulgas põllumajandusele, metsandusele, vee- ja muudele looduslikele ökosüsteemidele;
- c. keskkonnakaitse eesmärkide saavutamine, sealhulgas piiriülese õhusaaste kauglevi vähendamise meetmete majanduslik, sotsiaalne ja ökoloogiline hindamine.

Ülaltoodud eesmärkide saavutamiseks tehakse õhusaaste mõju uurimiseks keskkonnale koostööd järgmiste programmide raames:

- ICP Forests – rahvusvaheline programm õhusaaste mõju uurimiseks metsadele, alates 1985. aastast (ECE/EB, AIR/7, para. 54 (c)).
- ICP Waters – jõgede ja järvede hapestumise uurimise programm, alates 1985. aastast (ECE/EB, AIR/7, para. 54 (d)).
- ICP Vegetation – õhusaaste mõju looduslikule taimkattele ja põllukultuuridele, alates 1985. aastast (ECE/EB, AIR/16, para. 32 (c)).
- ICP Materials – õhusaaste mõju materjalidele, sh. ajaloo- ja kultuurimälestistele, alates 1985. aastast (ECE/EB, AIR/7, para 54. (e)).
- ICP Integrated Monitoring – rahvusvaheline kompleksseire programm, pilootprogrammiga alustati 1987. aastal (ECE/EB, AIR/16, para. 25 (d)) ning jätkuprogrammiga 1992 (ECE/EB, AIR/33, para. 37 (d)).

Kompleksseire eesmärgiks seati informatsiooni kogumine väikeste terviklike maismaaökosüsteemide seisundist ja prognoosida neis aja jooksul aset leidvaid muutusi, arvestades eeskätt lämmastiku- ja väävlisaaste mõju. Pikaajaliselt kogutud komplekssete andmete alusel on võimalik selgitada ökosüsteemis toimuvate muutuste põhjuslikke seoseid keskkonnateguritega, tagades adekvaatse teadusliku aluse saastekontrollile, määratlada ja modelleerida ökosüsteemide seisundit tegelike ja prognoositavate saastekoormuste hindamiseks ning prognoosida õhusaaste kaugkande mõju ökosüsteemidele, arvestades regionaalset varieeruvust.

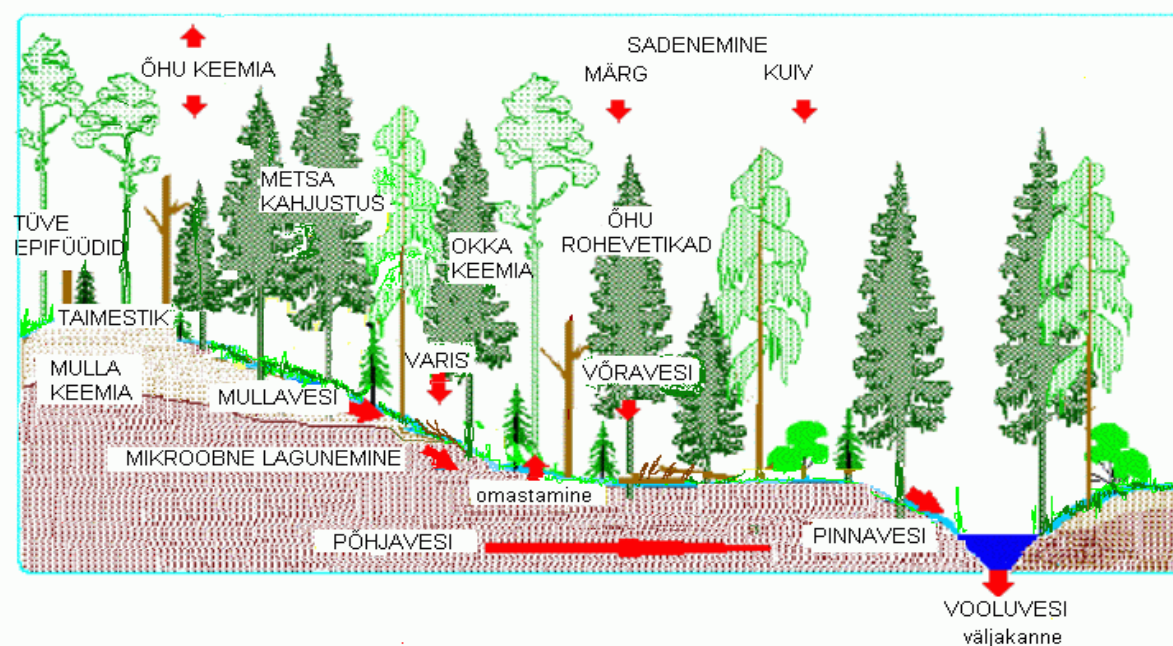
Väävli- ja lämmastikusaaste mõju uurimise kõrval on kompleksseire allprogrammide hulka laiendatud nii, et oleks võimalik hinnata ka osooni, raskmetallide ja püsivate orgaaniliste saasteainete (POP) ökoloogilist mõju (**Tabel 1**). Kompleksseire oli esimene üleeuroopaline seireprogramm, mis mõõtis ökosüsteemi eri osade füüsikalisi, keemilisi ja bioloogilisi parameetreid integreeritult ühel proovialal ja võimaldas sellele toetudes luua rahvusvahelise andmebaasi. Arvestades ökosüsteemis asetleidvate



protsesside ruumilist ja ajalist varieeruvust, peaks iga seires osalev riik tagama programmi pikaajalise järjepidevuse. Pikaajalise uuringu all mõistetakse enam kui 10-aastast uurimisperioodi (*Manual for Integrated Monitoring, Helsinki 1988*, viimati uuendatud 2022). Kuna kompleksseire allprogrammide hulk on suur, on tegemist töömahuka, aga ka mitmekülgset informatsiooni pakkuva seireprogrammiga. Seosed erinevate osade vahel metsaökosüsteemis on välja toodud alloleval joonisel (**Joonis 1**). Kompleksseire eelarve otstarbekamaks kasutamiseks on seire käsiraamatus välja pakutud seire prioriteedid ja miinimumprogramm rahvusvahelises koostöös osalemiseks. Koostöö eesmärgiks on usaldusväärsete andmete kogumine modelleerimiseks ning poliitiliste otsuste põhjendamiseks.

Tabel 1. Põhjus-tagajärg seosed, mille kohta kompleksseire programm andmeid kogub.

Tegur (põhjus)	Seotud allprogrammid	Spetsiifiline indikaator koos allprogrammiga	Üldine indikaatornäitaja
Lämmastik, väävel	PC, TF, SF, RW/SW, SC, AM, LC (AC, LF, GW)	Taimestiku lämmastiku ja väävli nõudluse indeks (VG, EP) Lehtede/okaste keemiline koostis (FC)	Biomassi muutus Liigiline koosseis Metsakahjustused Mikroobne lagunemine
Osoon	AM, AC, SW	Lehtede/okaste kahjustused (FD)	Biomassi muutus Liigiline koosseis Fenoloogia
Püsivad orgaanilised saasteained (POS)	PC, RW/SW, FC (GW)	Bioakumulatsioon	Biomassi muutus Liigiline koosseis
Raskmetallid	MC, FC, PC, RW/SW (GW)	Bioakumulatsioon Mikroobne lagunemine	Biomassi muutus Liigiline koosseis
Kliimamuutus	AM, AC		Biomassi muutus Bioloogiline mitmekesisus Mikroobne lagunemine



Joonis 1. Kompleksseire peamised uurimisvaldkonnad ja nende vahelised seosed.

Eestis on kompleksseiret läbi viidud alates 1994. aastast kahel seirealal – Vilsandi saarel (biomonitoringu ala) ja Saarejärvel (intensiivseireala Jõgevamaal) (Tabel 2). Vilsandil on kompleksseiret alates 1994. aastast teostanud Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Saarejärvel viis aastatel 1994-2015 seiret läbi IM Saare, alates 2016. aastast teostab Saarejärvel kompleksseiret Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ (EKUK).

Tabel 2. Kompleksseire alad.

Kood	Ala	Koordinaadid		Pindala	Asukoht
		PL	IP	ha	
SJA2858000	Saarejärve intensiivseireala	583926	264532	430	Ida-Eesti
SJA5876000	Vilsandi biomonitoringu seireala	582303	215101	0,77	Vilsandi saar

Vilsandi seirealal teostatakse järgmisi allprogramme (sulgudes vastavate programmide ingliskeelsed lühendid): meteoroloogia (AM), õhukeemia (AC), avamaa sademed (PC), võravoolu keemia (TF), mullavee keemia (SW), mullakeemia (SC), okkakeemia (FC), varise keemia (LF), taimkate intensiivaladel (VG), tüve epifüüdid (EP), tüvevoolu keemia (SF), sammalde keemia (MC) ja mikroobne lagunemine (MB). Saarejärve seirealal teostatavad allprogrammid on järgmised: meteoroloogia, õhukeemia, avamaa sademed, võravoolu keemia, mullavee keemia, mullakeemia, vooluvee keemia (RW), okkakeemia, varise keemia, taimkate intensiivaladel, tüve epifüüdid, tüvevoolu keemia, põhjavee keemia (GW), sammalde keemia, mikroobne lagunemine ja toksilisuse hindamine (TA).



2 Metoodika

Allprogrammid, nende proovivõtu- ja analüüsimetoodikad on kindlaks määratud osalevate maade ekspertide poolt kooskõlastatud kompleksseire käsiraamatus (*Manual for Integrated Monitoring, Helsinki 1988*, viimati uuendatud 2022), arvestades ka teiste sama konventsiooni raames toimuvate koostööprogrammidega.

Täidetavate allprogrammide hulk kompleksseires oleneb seireala tüübist. Saarejärvel on rajatud seire A-kategooria intensiivala, kus piisavate rahaliste vahendite korral oleks võimalik täita kõiki kompleksseire käsiraamatus toodud allprogramme ökosüsteemi seisundi hindamiseks. Vilsandi puhul on tegemist B-kategooria biomonitooringualaga, mis tähendab, et seal puudub valgala. 2023. aastal täideti Saarejärvel ja Vilsandil kompleksseire allprogramme tabelis 3 (**Tabel 3**) toodud mahus.

Tabel 3. Kompleksseire programmid (kursiivis täiendavad allprogrammid) ja allprogrammide täitmine Saarejärve ja Vilsandi seirealadel 2023. aastal.

Kompleksseire allprogramm	Programmi läbi viimise sagedus Saarejärvel ja Vilsandil	Proovide arv keemilisteks analüüsideks
7.1. Meteoroloogia (AM)	Pidevmõõtmised Jõgeva (Saarejärve) ja Vilsandi meteoroloogiajaamades	
7.2. Õhu keemia (AC)	Pidevmõõtmised Saarejärve ja Vilsandi õhuseire automaatjaamades	
7.3. Avamaa sademed (PC)	Igapäevane kogumine, kuu keskmiste proovide analüüs	Saarejärvel 12 proovi, Vilsandil 12 proovi
7.5. Võravoolu keemia (TF)	Kuu keskmiste proovide analüüs	Saarejärvel 12 proovi, Vilsandil 12 proovi
7.6. Tüvevoolu keemia (SF)	Kuu keskmiste proovide analüüs	Saarejärvel 11 proovi, Vilsandil 8 proovi
7.8. Mullavee keemia (SW)	Kuu keskmiste proovide analüüs	Saarejärvel 6 + 6 proovi, Vilsandil 8 + 8 proovi
7.10. Vooluvee keemia (RW)	Saarejärvel proovivõtt ja analüüs 1 kord kuus	Saarejärvel 11 proovi
7.12. Okkakeemia (FC)	Proovivõtt ja analüüs kord aastas (1 aastased männi okkad)	Saarejärvel 1 proov Vilsandil 1 proov <i>Lisaks 1 proov 2-aasta vanuseid okkaid kummaltki seirealalt</i>
7.13. Varise keemia (LF)	Proovide kogumine lumeval perioodil, okaste ja muu osa analüüs 1 kord aastas	Saarejärvel 2 keskmistatud proovi (varise okkad + muu osa); Vilsandil 2 keskmistatud proovi (varise okkad + muu osa)
7.22. Mikroobne lagunemine (MB)	Igal seireplatsil 12 alfatselluloosiriba ja 3*4g varise okkaid Vilsandil augustis, Saarejärvel oktoobris	Saarejärvel 1+3 proovi (α-tselluloos + okkad) Vilsandil 1+3 proovi (α-tselluloos + okkad)



Kõik töös kirjeldatud mõõtmised ja analüüsid on teostatud Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ (EKUK) poolt, kasutades akrediteeritud analüüsimeetodeid. EKUK on Eesti Akrediteerimiskeskuse (EAK) poolt akrediteeritud katselabor registreerimisnumbriga nr L008 ning vastavad akrediteerimisulatus kirjeldavad akrediteerimistunnistused on leitavad EAK kodulehelt¹.

Kõikide allprogrammide kuu ja aasta keskmised tulemused 2023. aasta kohta on toodud käesoleva aruande tabelites. Keskmised on esitatud kaalutud keskmistena, mis tähendab, et arvutamisel on arvestatud sademete hulgaga lähtudes Kompelksseire ja EMEP juhenditest. Samuti on kõik analüüsitulemused välja toodud aastaaruandega koos esitatavates andmetabelites, mis on üles laetud Keskkonnaseire andmebaasi KESE. Kõik 2023. aasta jooksul Saarejärve ja Vilsandi seirealalt kogutud proovide analüüsitulemused esitatakse 1. detsembriks 2024.a. rahvusvahelisse kompleksseire andmebaasi eraldi formaadis andmetabelitena. Vilsandi avamaa sademete ja õhu keemia 2023. aasta tulemused esitatakse 31. juuliks 2024.a. EMEP andmebaasi.

2022. aasta Vilsandi avamaa sademete ja õhu keemia analüüsitulemused esitati 31. juuliks 2023.a. EMEP andmebaasi. 2022. aasta kõik kompleksseire tulemused esitati vastavalt 2023. aasta mais toimunud ICP IM töögrupi koosolekul vastu võetud otsusele 1. detsembriks 2023 rahvusvahelisse kompleksseire andmebaasi, mis alates 2021. aastast on Rootsi Põllumajandusteaduste Ülikooli hallata (*Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala*). Lisaks esitati 1. juuliks 2023. aastal direktiivis (EL) 2016/2284 artiklis 9 osutatud seireandmed Euroopa Komisjonile ja Euroopa Keskkonnaametile. Seireandmed esitati 2022. aasta kompleksseire allprogrammi Saarejärve jaama (koos õhuseirejaama andmetega), metsaseire allprogrammi II astme püsivaatlusala nr 9 Tõravere jaama ning pinnaveeseire Kiidjärve jaama andmete põhjal. Näitajad, mida seiratakse rotatsiooniga (ja mis ei kuulunud seetõttu 2022. aastal seiresse), esitati selle aasta kohta, mil seda viimati määrati.

3 Aasta meteoroloogiline iseloomustus ja sademete keemia

3.1 Meteoroloogiline iseloomustus

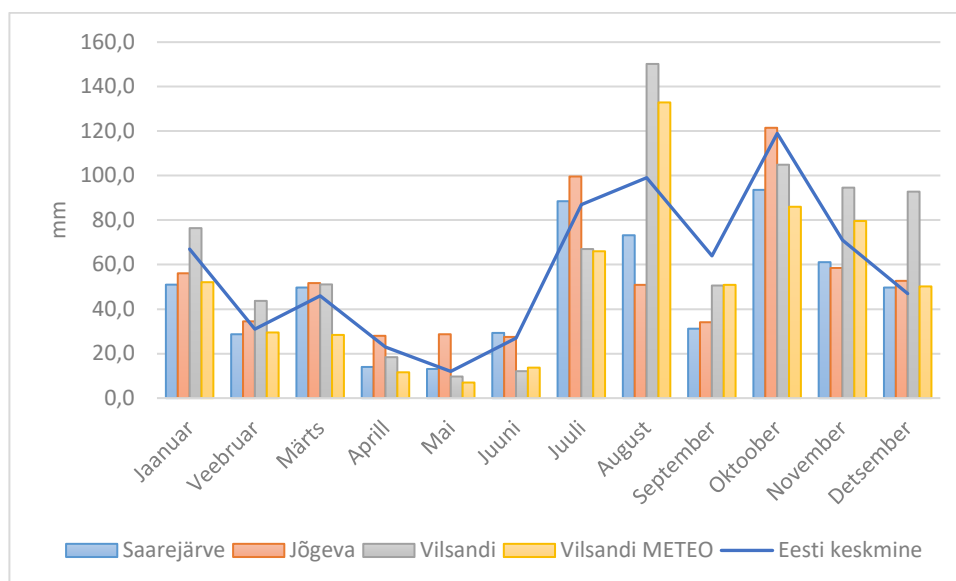
2023. aasta oli Keskkonnaagentuuri andmetel normist soojem, päikesepaistelisem ja sajusem, sademeid esines Eestis keskmisena 693 mm (norm 662 mm) ja keskmine õhutemperatuur oli 7,2 °C (norm 6,4 °C). Kõige soojem kuu oli august (keskmine õhutemperatuur 18,0 °C) ja kõige külmem kuu detsember (-2,5 °C). Sademeid esines kõige rohkem oktoobris (keskmiselt 119 mm, norm 72 mm) ja kõige vähem mais (keskmiselt vaid 12 mm, norm 42 mm).

Saarejärvel mõõdeti 2023. aastal avamaa sademete hulgaks 583 mm. Kõige sademeterohkem oli Saarejärve seirealal oktoober, kui kuu sademete koguseks mõõdeti 94 mm, vähim kogunenud sademete kogus mõõdeti mais (vaid 13 mm). Võrdluseks Jõgeval (Saarejärvele kõige lähemal asuv METEO mõõtejaam) mõõdeti sademete aastaseks koguseks 644 mm. Vilsandi rannikujaamas mõõdeti 2023. aasta sademete hulgaks 608 mm, Vilsandi avamaa mõõtepunktis aga 772 mm. Mais mõõdeti

¹ <https://klab.ee/wp-content/uploads/2020/08/L008-EKUK-01.06.2020.pdf>



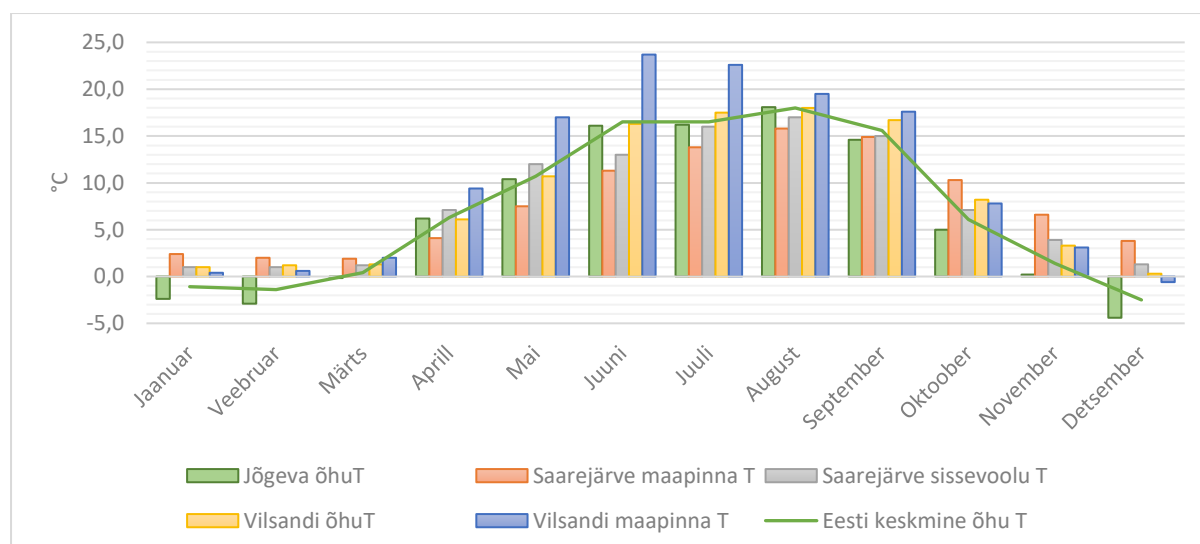
avamaa sademete summaks 9,7 mm ja augustis 150 mm (**Joonis 2**). Vilsandil sademete hulkades esineva erinevuse põhjuseks võib olla asjaolu, et automaatne sademete mõõtur mõõdab osadel kuudel sademete kogused suuremad (ilmselt sõltuvalt sademete liigist), kui on samal kuul manuaalsetel mõõtmistel saadud tulemused.



Joonis 2. Saarejärve, Jõgeva ja Vilsandi sademete kogused (mm) 2023. aastal.

Vilsandi seireala on ümbritsetud merega, seega on talvised kuukeskmised õhutemperatuurid Vilsandil kõrgemad kui Saarejärve seirealal. Kõige soojemaks kuuks Vilsandil ja Saarejärvel oli 2023. aastal august, mil kuu keskmiseks õhutemperatuuriks mõõdeti Vilsandil 18,0 °C ning Saarejärvel 18,1 °C. Kõige külmem kuu oli nii Vilsandil kui ka Saarejärvel detsember (vastavalt 0,3 °C ja -4,4 °C). Aasta keskmine temperatuur oli Vilsandil 8,4 °C, Saarejärvel 6,5 °C. Vilsandil puhusid valdavalt lõuna-edela tuuled keskmise kiirusega 5,3 m/s, keskmine õhuniiskus oli 81%. Saarejärvel puhusid 2023. aastal peamiselt samuti lõuna-edela tuuled keskmise kiirusega 2,4 m/s, keskmine õhuniiskus oli 80%.

Mullatemperatuur oli Saarejärvel männikus kuu keskmisena kõrgeim augustis (15,8 °C) ja madalaim märtsis (1,9 °C). Vilsandi seireala iseloomustamiseks on aruandes kasutatud Vilsandi rannikujaamas mõõdetud maapinna temperatuuride andmeid, mille põhjal oli maapind kõige jahedam detsembris (-0,6 °C) ja kõige soojem juunis (23,7 °C) (**Joonis 3**).



Joonis 3. Saarejärve ja Vilsandi õhu- ja pinnasetemperatuurid ning Saarejärve sissevoolu temperatuur 2023. aastal.

3.2 Avamaa sademed

Avamaa sademete proovide kogumiseks on Vilsandi seirealale paigaldatud kaks standardset EMEP sademete kogumise seadet ja Saarejärvele üks koguja, diameetriga 20 cm. Sademeid koguti sarnaselt eelnevate aastatega ööpäevasel põhimõttel, laboratoorseks analüüsiks moodustati mõlemal seirealal kuu keskmised koondproovid.

Mõlemalt seirealalt koguti vaatlusperioodi jooksul 12 sademete proovi. Vastavalt kompleksseire raames kogutud avamaa sademete proovidele oli Saarejärvel aasta jooksul 583 mm sademeid ja Vilsandil 772 mm sademeid, pikaajaline Eesti keskmine Keskkonnaagentuuri andmetel on 661 mm sademeid aastas. Kõige sademeterohkem kuu Saarejärvel oli oktoober (94 mm) ja Vilsandil august (150 mm), sademetevaesem kuu oli nii Saarejärvel kui ka Vilsandil mai (sademete kogused vastavalt 13 mm ning 9,7 mm).

2023. aastal oli Saarejärve avamaa sademete kaalutud keskmiseks pH 5,7 (**Tabel 4**) ning Vilsandil 5,2 (**Tabel 6**), kusjuures Vilsandi seirealal jäi pH alla 5,0 kahel korral ning oli üle 6,0 neljal korral. Saarejärvel oli pH üle 6,0 kolmel korral. Vähesed sademete hulga tõttu jäi Saarejärvel aprillis ja mais HCO_3^- määramata.


Tabel 4. Saarejärve avamaa sademetes määratavate näitajate sisaldused, aasta keskmised ja depositsioon.

	Sademetete kogus (mm)*	pH	Elektri-juhtivus (µS/cm)	SO ₄ -S (mgS/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	NH ₄ -N (mgN/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	HCO ₃ (µekv/l)
Jaanuar	51	5,6	6,9	0,19	0,26	0,27	0,33	0,18	0,048	0,40	0,031	14
Veebruar	29	5,4	10	0,21	0,32	0,35	0,65	0,40	0,15	0,40	0,069	22
Märts	50	5,4	9,7	0,21	0,38	0,54	0,55	0,35	0,18	0,30	0,055	20
Aprill	14	6,2	31	0,75	0,64	1,2	0,82	0,30	0,43	3,2	0,35	vv
Mai	13	7,1	17	0,16	<0,020	0,010	0,55	0,39	0,92	2,1	0,31	vv
Juuni	29	6,8	15	0,089	<0,020	0,020	0,17	0,088	0,42	2,6	0,33	130
Juuli	89	6,0	4,3	0,13	<0,020	<0,010	0,35	0,19	0,14	0,38	0,071	27
August	73	5,7	2,9	0,16	<0,020	<0,010	0,21	0,067	0,048	0,28	0,052	11
September	31	6,0	6,8	0,21	<0,020	<0,010	0,20	0,066	0,056	0,95	0,11	56
Oktoober	94	6,0	16	0,18	<0,020	0,023	1,6	0,27	1,3	1,3	0,30	64
November	61	5,6	4,9	0,13	0,049	0,025	0,29	0,18	0,18	0,37	0,043	14
Detsember	50	5,3	7,1	0,11	0,26	0,30	0,44	0,25	0,15	0,13	<0,020	13
2023 kaalutud keskmine	583*	5,7	8,9	0,17	0,12	0,15	0,56	0,21	0,35	0,74	0,12	32
Depositsioon (kg/ha)				1,0	0,69	0,88	3,3	1,2	2,0	4,3	0,70	11
2022 kaalutud keskmine	555*	5,7	7,5	0,15	0,14	0,13	0,38	0,18	0,31	0,52	0,081	39
2022 depositsioon (kg/ha)				0,84	0,79	0,70	2,1	1,0	1,7	2,9	0,45	13

vv – vähe vett; *Sademetete koguse puhul toodud summa aasta keskmise asemel.

Tabel 5. Saarejärve avamaa sademete üldfosfori (P-üld), üldlämmastiku (N-üld), lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ning raskmetallide sisaldused.

	P-üld (mg/l)	N-üld (mg/l)	DOC (mg/l)	Mn (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)
Jaanuar	0,017	0,60	1,9	2,5	0,019	0,67	0,12	0,29	4,6
Veebruar	0,027	0,93	2,4	5,8	0,015	4,6	0,16	0,25	5,4
Märts	0,011	1,1	1,8	1,3	0,017	0,60	0,089	0,26	4,4
Aprill	0,15	2,4	6,1	2,4	0,027	2,6	0,098	0,31	7,0
Mai	0,22	1,5	8,8	0,20	<0,010	1,4	0,15	0,081	5,1
Juuni	0,041	0,40	4,0	0,20	<0,010	0,63	<0,050	<0,050	2,0



Juuli	0,025	0,21	2,7	0,42	<0,010	0,32	<0,050	<0,050	9,6
August	0,013	0,31	2,4	1,2	<0,010	0,24	<0,050	0,081	1,2
September	0,15	0,25	2,2	0,21	<0,010	0,45	<0,050	<0,050	2,1
Oktoober	0,33	0,25	8,3	11	<0,010	0,15	<0,050	0,067	2,2
November	0,017	0,27	0,87	7,0	<0,010	0,60	0,11	0,15	7,4
Detsember	0,011	0,76	1,7	0,90	0,012	1,3	0,16	0,21	4,0
2023 kaalutud keskmine	0,083	0,52	3,4	3,5	0,0089	0,76	0,070	0,13	4,6
Depositsioon (kg/ha)	0,48	3,0	20	0,020	0,000052	0,0044	0,00041	0,00076	0,027
2022 kaalutud keskmine	0,046	0,65	2,6	1,1	0,0078	0,79	0,11	0,26	3,2
2022 depositsioon (kg/ha)	0,25	3,6	15	0,0062	0,000044	0,0044	0,00062	0,0014	0,018

Tabel 6. Vilsandi avamaa sademetes määratavate näitajate sisaldused, aasta keskmised ja depositsiooni kogus.

	Sademetete kogus (mm)*	pH	Elektri-juhtivus (µS/cm)	SO ₄ -S (mgS/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	NH ₄ -N (mgN/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	HCO ₃ (µekv/l)
Jaanuar	76	5,1	19	1,3	0,22	0,11	1,1	2,3	0,030	0,12	0,080	60
Veebruar	44	4,9	52	0,67	0,67	0,35	9,6	5,0	1,0	0,77	0,73	71
Märts	51	5,3	12	0,24	0,39	0,30	1,4	0,80	0,060	0,090	0,090	45
Aprill	18	6,4	20	0,67	0,59	0,71	0,82	0,98	0,52	0,31	0,090	100
Mai	9,7	6,1	17	0,37	0,44	0,59	0,63	0,36	0,28	0,36	0,060	130
Juuni	12	6,6	12	0,17	0,060	0,020	0,54	0,41	0,29	0,88	0,11	70
Juuli	67	5,6	9,6	0,14	0,070	<0,016	0,99	0,83	0,27	0,16	0,040	68
August	150	6,1	35	0,30	0,11	0,43	1,3	0,61	0,48	1,1	0,23	58
September	51	5,8	7,7	0,17	0,10	0,020	0,83	0,41	0,27	0,42	0,050	110
Oktoober	105	5,4	24	0,32	0,060	<0,016	4,3	2,4	0,15	0,33	0,16	100
November	95	5,0	24	0,43	0,21	0,090	3,8	2,3	0,21	0,22	0,13	57
Detsember	93	4,8	14	0,22	0,22	0,030	0,88	0,63	0,18	0,070	0,030	49
2023 kaalutud keskmine	772*	5,2	23	0,41	0,20	0,18	2,3	1,5	0,29	0,42	0,15	69
Depositsioon (kg/ha)				3,2	1,5	1,4	18	12	2,2	3,3	1,2	32
2022 kaalutud keskmine	738*	5,2	15	0,36	0,26	0,24	1,4	1,0	0,14	0,29	0,14	80



	Sademetekogus (mm)*	pH	Elektrijuhtivus (µS/cm)	SO ₄ -S (mgS/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	NH ₄ -N (mgN/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	HCO ₃ (µekv/l)
2022 depositsioon (kg/ha)				2,7	1,9	1,7	10	7,5	1,0	2,2	1,0	36

*Sademetekoguse puhul toodud summa aasta keskmise asemel.

Tabel 7. Vilsandi avamaa sademete üldfosfori (P-üld), üldlämmastiku (N-üld), lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ning raskmetallide* sisaldused.

	P-üld (mg/l)	N-üld (mg/l)	DOC (mg/l)	Mn (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)
Jaanuar	<0,020	0,40	0,87	0,36	0,040	<1,0	<0,10	0,24	1,4
Veebruar	0,023	1,3	4,7	13	<0,020	2,5	0,72	0,64	5,7
Märts	<0,020	0,74	1,5	3,3	<0,020	4,4	1,2	0,59	36
Aprill	0,033	1,7	2,9	2,6	0,037	0,89	0,27	<0,050	24
Mai	0,050	1,4	4,1	3,9	0,022	0,62	0,23	0,26	11
Juuni	0,049	0,59	5,0	4,7	0,018	0,95	0,28	0,16	10
Juuli	0,021	0,31	2,5	1,4	<0,010	0,11	0,052	0,055	2,9
August	0,14	0,69	0,82	0,87	<0,010	0,56	0,15	0,057	10
September	<0,020	0,46	1,5	1,5	<0,010	<0,050	<0,050	0,064	2,2
Oktoober	<0,020	0,21	2,2	1,6	<0,010	0,35	0,10	0,067	3,4
November	<0,020	0,31	1,8	0,97	0,013	0,23	0,083	0,20	2,4
Detsember	<0,020	0,36	2,2	0,31	0,017	3,5	0,097	0,18	3,2
2023 kaalutud keskmine	0,039	0,53	1,9	1,9	0,013	1,1	0,21	0,18	7,2
Depositsioon (kg/ha)	0,30	4,1	15	0,015	0,00010	0,0088	0,0016	0,0014	0,056
2022 kaalutud keskmine	0,032	0,69	2,0	1,6	0,021	0,92	0,28	0,25	4,3
2022 depositsioon (kg/ha)	0,23	5,1	15	0,012	0,00015	0,0068	0,0021	0,0019	0,032

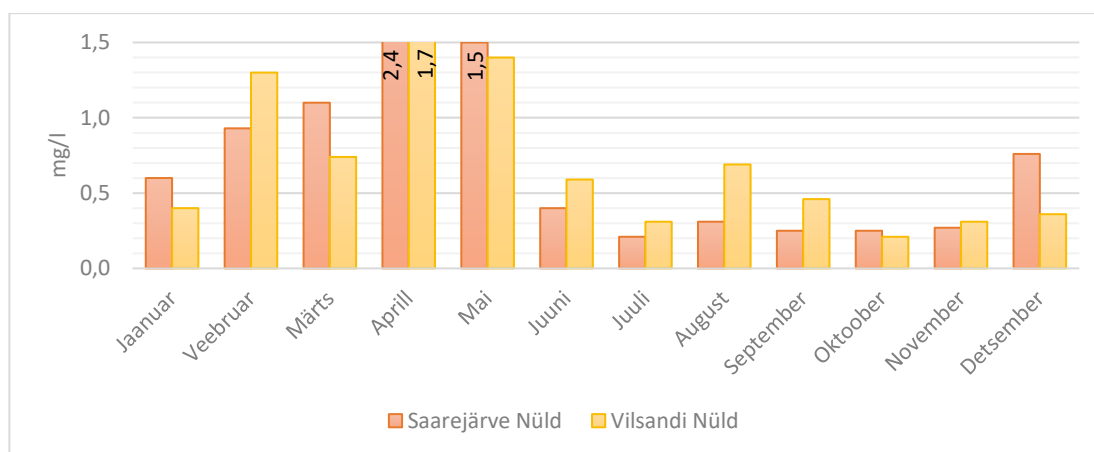
Saarejärvel saadi 2023. aastal avamaal keskmiseks elektrijuhtivuseks 8,9 µS/cm, olles kõrgeim aprillis 31 µS/cm. Vilsandi avamaa sademete keskmiseks elektrijuhtivuseks mõõdeti 2023. aastal 23 µS/cm.

Saarejärvel sisaldasid avamaa sademed 2023. aastal sulfaati keskmiselt 0,17 mgS/l, hektari kohta sadenes 1,0 kg ja Vilsandil 0,41 mgS/l, hektari kohta sadenes 3,2 kg. Kloriidiioone oli Saarejärvel keskmiselt 0,56mg/l ja sadenes 3,3 kg/ha/a, Vilsandil olid vastavad näitajad 2,3 mg/l ja 18 kg/ha/a.



Erinevus tuleneb sellest, et Vilsandi on merelise kliimaga ja kloriidioone kandub maismaale sademetega rohkem just mere läheduse tõttu.²

Saarejärvel olid $\text{NH}_4\text{-N}$ ja $\text{NO}_3\text{-N}$ sisaldused vastavalt 0,15 mgN/l ja 0,12 mgN/l ning aastased sadenenud kogused vastavalt 0,88 kg/ha ja 0,69 kg/ha/a. Vilsandil määrati 2023. aastal avamaa sademetest $\text{NH}_4\text{-N}$ ja $\text{NO}_3\text{-N}$ kontsentratsioonideks vastavalt 0,18 mgN/l ja 0,20 mgN/l, aasta jooksul sadenenud kogusteks saadi vastavalt 1,4 kg/ha ja 1,5 kg/ha, mis on vähem kui eelneval aastal. See on ilmselt tingitud madalamatest keskmistest kontsentratsioonidest ja suuremast aastasest sademete hulgast. Üldlämmastiku kontsentratsiooniks Saarejärvel saadi 0,52 mg/l ja deponeerunud koguseks 3,0 kg/ha, Vilsandil aga 0,53 mg/l ja sadenenud koguseks 4,1 kg/ha. Aasta esimesel poolel olid üldlämmastiku sisaldused kõrgemad (Joonis 4), sest proovid olid kontsentreeritumad sademete väiksema hulga tõttu.

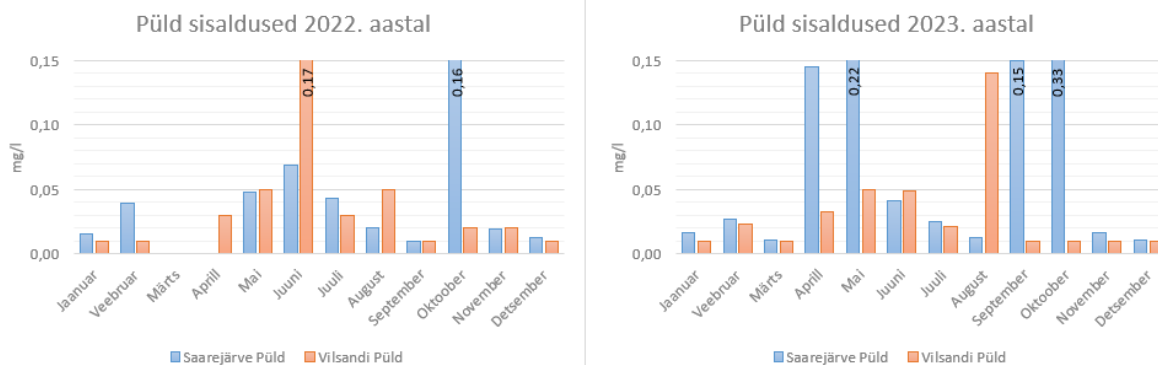


Joonis 4. Üldlämmastiku sisaldused avamaa sademetes 2023. aastal.

Katioonidest sadenes 2023. aastal Saarejärvel Ca 4,3 kg/ha, Mg 0,70 kg/ha, Na 1,2 kg/ha ja K 2,0 kg/ha (kontsentratsioonid vastavalt Ca 0,74 mg/l, Mg 0,12 mg/l, Na 0,21 mg/l, K 0,35 mg/l). Vilsandil sadenes 2023. aasta jooksul Ca 3,3 kg/ha, Mg 1,2 kg/ha, Na 12 kg/ha ja K 2,2 kg/ha (kontsentratsioonid Ca 0,42 mg/l, Mg 0,15 mg/l, Na 1,5 mg/l, K 0,29 mg/l).

Üldfosfori sisaldused Saarejärve avamaa sademetes olid võrreldes eelmise aastaga kohati mõnevõrra kõrgemad (Joonis 5), aasta keskmine sisaldus oli 0,083 mg/l ning sadenemine 0,48 kg/ha. Vilsandil jäid tulemused mitmel korral alla määramispiiri (0,020 mg/l), keskmine üldfosfori sisaldus oli 0,039 mg/l ja depositsioon 0,30 kg/ha.

² Möller, D. 1990. The Na/Cl ratio in rainwater and the seasalt chloride cycle. <https://doi.org/10.3402/tellusb.v42i3.15216>



Joonis 5. Üldfosfori sisaldused avamaa sademetes 2022. ja 2023. aastal.

Lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) sisaldus Saarejärve avamaal oli 3,4 mg/l ja sadenemine 20 kg/ha, mis jääb samasse suurusjärku 2022. seireaastaga. Erinevalt varasematest aastatest kõrgeid sisaldusi enam ei esinenud, näiteks septembris 2021. aastal oli DOC sisaldus 35 mg/l. Üheks põhjuseks on kindlasti avamaa sademetekogu ümber paigutamine sobivamasse kohta 2021. aasta oktoobris. Vilsandil oli lahustunud orgaanilist süsinikku avamaa sademetes keskmiselt 1,9 mg/l, aasta jooksul sadenes 15 kg/ha.

2018. aastal alustati Saarejärvel avamaa sademete ja männikus kogutud veeproovide raskmetallide analüüsimisega (Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, Mn), millega jätkati ka 2023. aastal.

Mõlema seireala avamaa sademete proovides jäid mitmetel kuudel läbi aasta Cd, Pb ja Ni sisaldused alla meetoodika määramispiiri. Saarejärve avamaa sademetega sisenes ökosüsteemi 2023. aasta jooksul Cd 0,052 g/ha, Cu 4,4 g/ha, Pb 0,76 g/ha, Zn 27 g/ha, Ni 0,41 g/ha ja Mn 20 g/ha. Vilsandil sadenes 2023. aasta jooksul Cd 0,10 g/ha, Cu 8,8 g/ha, Pb 1,4 g/ha, Zn 56 g/ha, Ni 1,6 g/ha ja Mn 15 g/ha.

Sarnaselt mitmele eelnevale aastale on mõlema seireala avamaa sademete aasta kaalutud keskmiste kontsentratsioonide põhjal arvutatud trendid viimase 10 aasta kohta (aastad 2014-2023), kasutades selleks Mann-Kendalli mitteparameetrilist trendianalüüsi. Trendianalüüsi põhjal on Saarejärve avamaa sademetes viimase kümne seireaasta jooksul jätkuvalt langustrendis NO₃-N (Joonis 6) ja SO₄-S kontsentratsioonid. Vilsandil on vähenenud NH₄-N, NO₃-N, Pb ja üldlämmastiku sisaldused, kuid tõusnud pH, suurenenud Cl, Mn sisaldused (Joonis 7) ja sademete hulk (Tabel 8).

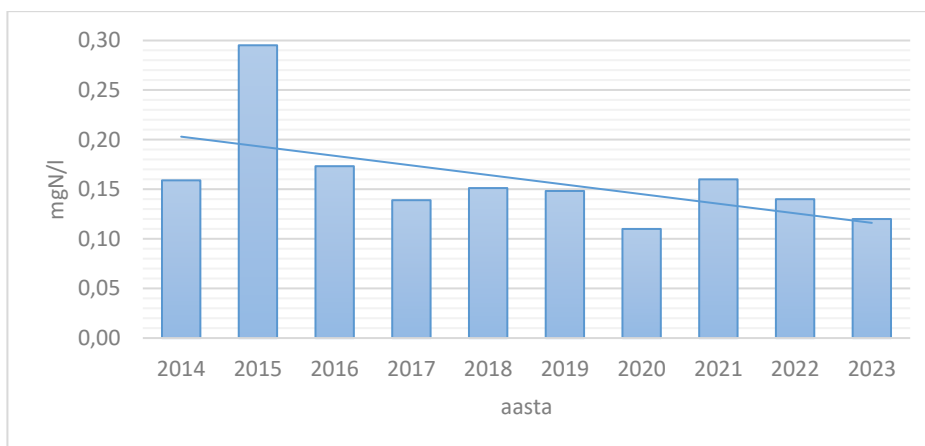
Tabel 8. Saarejärve ja Vilsandi avamaa sademete olulisemad trendid aastatel 2014-2023.

Muutus “↓” vähenemine ja “↑” suurenemine. Olulisustõenäosuse (p) tasemed ***0,001; **0,01; *0,05 ja +0,1.

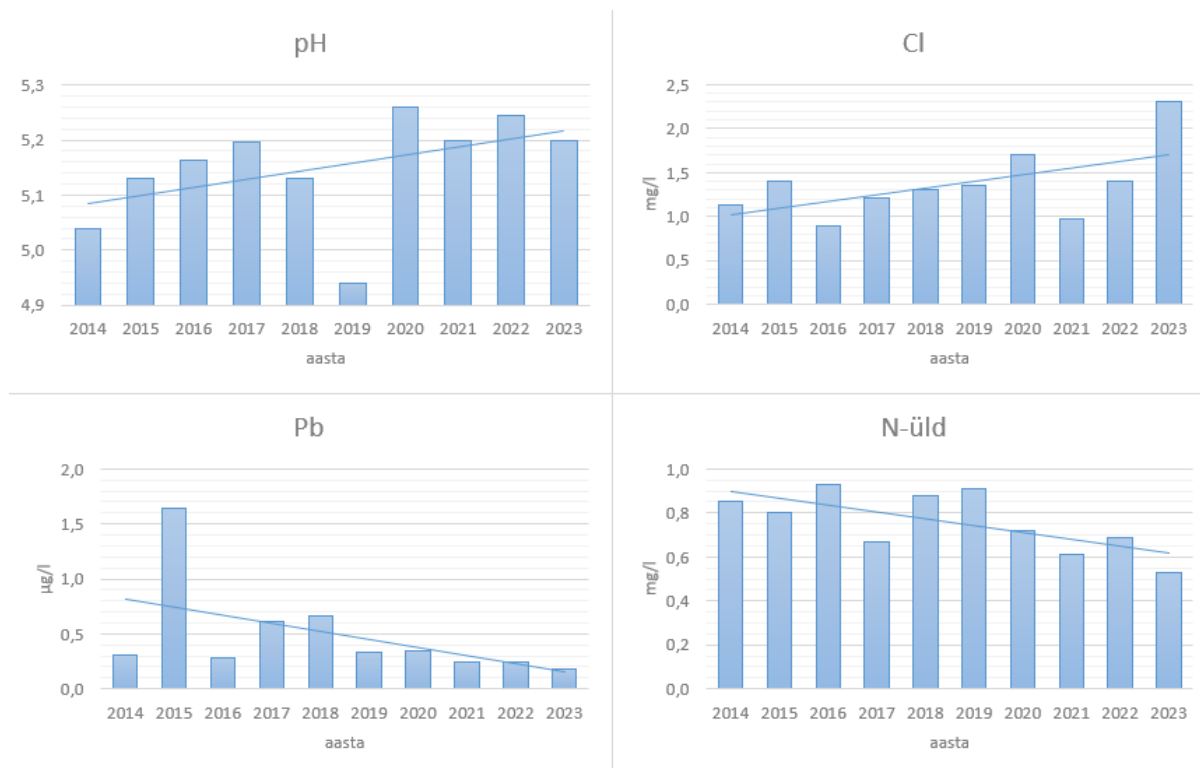
Seirejaam	Maatriks	Näitaja	Algusaasta	Lõppaasta	Muutus	Trend
Saarejärve	avamaa	NO ₃ -N	2014	2023	↓	+
Saarejärve	avamaa	SO ₄ -S	2014	2023	↓	**
Vilsandi	avamaa	Sademete kogus	2014	2023	↑	**
Vilsandi	avamaa	pH	2014	2023	↑	+
Vilsandi	avamaa	NH ₄ -N	2014	2023	↓	*



Vilsandi	avamaa	NO ₃ -N	2014	2023	↓	*
Vilsandi	avamaa	Cl	2014	2023	↑	+
Vilsandi	avamaa	Mn	2014	2023	↑	+
Vilsandi	avamaa	Pb	2014	2023	↓	+
Vilsandi	avamaa	N-üld	2014	2023	↓	+



Joonis 6. NO₃-N sisaldused aastatel 2014-2023 Saarejärve avamaa sademetes koos trendijoonega.



Joonis 7. Mõned olulisemad trendid aastatel 2014-2023 Vilsandi avamaa sademetes.

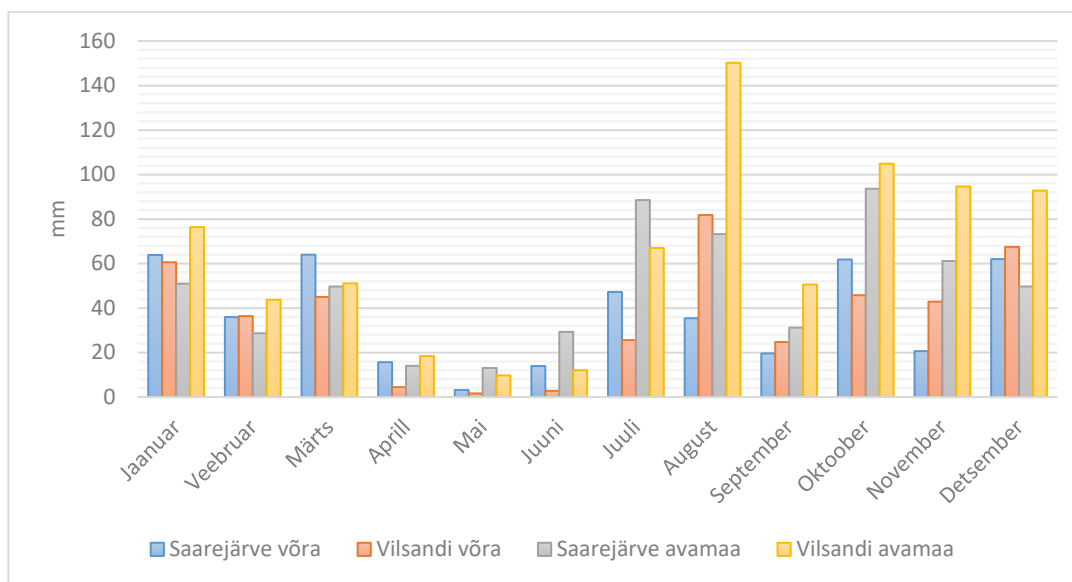


3.3 Võravoolu keemia

Võravoolu analüüsimise peamiseks eesmärgiks on koguda informatsiooni nii märg- kui ka kuivdepositsiooni osas. Läbi võra voolav vihmavesi peseb osaliselt maha ka sinna kuivsadenedemise käigus langenud ühendid. Koos tüvevooluga annab võravesi võimaluse hinnata nii metsa aluspinnale langevat toitainete kui ka saasteainete koormust.

2023. aastal koguti Vilsandi kompleksseirealalt talvekuudel võravett 5 lumekogujaga (20 liitrilised plastämbrid), suvisel perioodil 10 võravee kogujaga. Saarejärvel koguti võravee proove talvel 3 lumekogujaga (10 liitrilised plastämbrid) ja suvel 5 võraveekogujaga.

Saarejärve männikus mõõdeti 2023. aastal võravee aastaseks koguseks 443 mm, mis moodustab avamaa sademetest 76% (2022. aastal vastavalt 455 mm ja 82%). Vilsandil saadi 2023. aastal võravee koguseks 439 mm, mis moodustab 57% avamaa sademete kogusest (2022. aastal vastavalt 444 mm ja 60%) (Joonis 8).



Joonis 8. Võravee ja avamaa sademete kogused kuude kaupa 2023. aastal.

2022. aastaga võrreldes on Saarejärve võravee proovides suurenenud sulfaatse väävl, naatriumi ja üldlammastiku sisaldused (Tabel 9, Tabel 10). Saarejärve männiku võravee kaalutud keskmine pH oli 5,1, pH jäi 2023. aasta lõikes 4,9 ja 5,2 vahele (v.a. veebruaris, mais ja juunis). Ka 2022. aastal jäi pH enamasti samasse vahemikku. Varasematel aastatel on väärtused veidi kõrgemad olnud.

2022. aastaga võrreldes on Vilsandi võravee proovides enamike analüüsitud näitajate sisaldused jäänud samale tasemele või vähenenud, suurenenud on vaid mangaani sisaldused. Kõikide ainete sadenedemishulgad mõlemal seirealal on välja toodud tabelites (Tabel 9, Tabel 10, Tabel 11 ja Tabel 12). 2023. aastal oli Vilsandi võravee keskmine pH 5,2, happelisemad (pH<5,1) olid proovid aasta alguses ja lõpus.

Talvised kõrgemad mineraalse lammastiku sisaldused on seotud külmaperioodil võrastiku epifüütide lammastiku tarbimise vähenemisega. Epifüüdid (samblikud ja vetikad) tarbivad lammastikku oma tallusega otse sademetest, kuid talvisel perioodil on taimed puhkeseisundis ja tarbimist ei toimu. Talveperioodi kõrgemad sulfaatse väävl sisaldused on tõenäoliselt seotud kütteperioodiga.


Tabel 9. Saarejärve võravee analüüsitulemused 2023. aastal.

	Võravee kogus (mm)*	pH	Elektri-juhtivus (µS/cm)	SO ₄ -S (mgS/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	NH ₄ -N (mgN/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	HCO ₃ (µekv/l)
Jaanuar	64	4,9	13	0,21	0,23	0,093	0,73	0,51	0,53	0,37	0,084	<10
Veebruar	36	5,7	13	0,28	0,35	0,25	1,1	0,59	0,18	0,73	0,097	28
Märts	64	4,9	16	0,25	0,40	0,27	1,5	0,81	0,49	0,52	0,14	<10
Aprill	16	5,2	34	0,70	0,81	0,93	1,2	0,77	1,9	2,5	0,53	65
Mai	3,1	6,8	55	0,68	0,45	0,41	1,6	0,91	6,6	3,5	0,97	474
Juuni	14	5,8	41	0,50	<0,020	0,030	3,6	0,61	8,4	2,5	0,55	148
Juuli	47	5,2	18	0,20	<0,020	0,19	1,1	0,74	1,8	0,87	0,20	30
August	35	5,0	17	0,14	<0,020	0,013	0,57	0,35	1,5	1,2	0,31	32
September	20	5,1	20	0,18	<0,020	<0,010	0,78	0,39	1,7	1,7	0,41	46
Oktoober	62	5,2	18	0,12	<0,020	0,030	1,8	0,86	1,6	0,91	0,22	28
November	21	5,2	11	0,11	<0,020	0,046	0,47	0,47	0,83	0,74	0,14	21
Detsember	62	4,9	12	0,13	0,24	0,18	0,63	0,30	0,41	0,32	0,058	<10
2023 kaalutud keskmine	433*	5,1	17	0,21	0,19	0,16	1,1	0,60	1,2	0,85	0,19	27
Depositsioon (kg/ha)				0,95	0,84	0,72	5,0	2,7	5,5	3,8	0,85	7,4
2022 kaalutud keskmine	455*	5,2	16	0,17	0,22	0,15	1,1	0,52	1,2	0,99	0,20	31
Depositsioon 2022 aastal (kg/ha)				0,79	1,0	0,66	5,0	2,4	5,7	4,5	0,91	8,6

*Võravee koguse puhul on toodud summa aasta keskmise asemel.

Tabel 10. Saarejärve võravee üldfosfori (P-üld), -lämmastiku (N-üld), lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ning raskmetallide sisaldused 2023. aastal.

	P-üld (mg/l)	N-üld (mg/l)	DOC (mg/l)	Mn (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)
Jaanuar	0,018	0,61	11	29	0,023	0,68	0,063	0,38	4,0
Veebruar	0,032	0,84	1,6	18	0,024	1,4	0,29	0,30	5,0
Märts	0,011	1,1	7,1	35	0,023	0,41	<0,050	0,21	3,9
Aprill	0,16	2,5	26	75	0,034	1,2	0,25	0,39	12
Mai	0,49	5,9	35	37	0,025	3,5	0,61	0,18	14



	P-üld (mg/l)	N-üld (mg/l)	DOC (mg/l)	Mn (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)
Juuni	0,42	2,5	33	50	0,038	2,1	1,1	0,28	11
Juuli	0,13	2,0	23	26	0,022	0,59	0,27	0,094	17
August	0,081	1,0	24	83	0,041	0,69	0,17	0,30	15
September	0,053	0,81	26	110	0,041	0,68	0,22	0,18	12
Oktoober	0,024	0,47	21	110	0,021	0,39	0,11	0,13	10
November	0,048	0,66	16	69	0,031	1,1	0,23	0,22	11
Detsember	0,012	0,60	9,1	22	0,015	0,47	<0,050	0,39	3,0
2023 kaalutud keskmine	0,058	1,0	15	51	0,025	0,72	0,17	0,26	8,3
Depositsioon (kg/ha)	0,26	4,6	68	0,23	0,00011	0,0032	0,00073	0,0011	0,037
2022 kaalutud keskmine	0,061	0,81	14	59	0,024	0,85	0,15	0,29	7,8
Depositsioon 2022. aastal	0,28	3,7	65	0,27	0,00011	0,0039	0,00067	0,0013	0,036

Tabel 11. Vilsandi võravee analüüsitulemused 2023. aastal.

	Võravee kogus (mm)*	pH	Elektri- juhtivus (µS/cm)	SO4-S (mgS/l)	NO3-N (mgN/l)	NH4-N (mgN/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	HCO3 (µekv/l)
Jaanuar	61	5,0	52	0,53	0,32	<0,016	8,4	4,6	2,3	2,0	0,84	80
Veebruar	36	4,8	78	0,97	0,77	0,21	16	8,0	2,1	1,5	1,2	75
Märts	45	4,9	53	0,63	0,53	0,070	10	5,5	1,1	0,88	0,84	78
Aprill	4,5	5,7	68	1,2	2,0	1,8	6,1	3,4	1,9	3,2	0,93	150
Mai	1,6	5,8	85	0,90	2,1	1,3	6,2	4,2	5,6	3,3	1,5	210
Juuni	2,8	6,3	12	1,2	0,030	0,91	8,8	5,9	8,1	4,1	2,1	570
Juuli	26	6,0	68	0,53	0,22	1,0	7,0	3,8	5,3	1,3	0,57	220
August	82	5,9	35	0,32	0,080	0,78	3,1	1,9	2,3	1,5	0,24	140
September	25	5,8	65	0,67	0,10	1,1	6,3	3,2	6,1	1,9	0,52	290
Oktoober	46	5,9	89	0,97	0,10	0,99	17	8,2	2,9	2,2	0,66	140
November	43	5,4	42	0,43	0,14	0,40	7,2	3,7	1,4	0,88	0,28	98
Detsember	67	5,0	32	0,47	0,25	<0,016	4,8	2,5	0,74	0,77	0,16	91
2023 kaalutud keskmine	439*	5,2	53	0,59	0,29	0,46	8,2	4,3	2,3	1,5	0,56	125
Depositsioon (kg/ha)				2,6	1,3	2,0	36	19	10	6,4	2,4	33



	Võravee kogus (mm)*	pH	Elektri-juhtivus (µS/cm)	SO ₄ -S (mgS/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	NH ₄ -N (mgN/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	HCO ₃ (µekv/l)
2022 kaalutud keskmine	444*	5,1	60	0,70	0,50	0,61	9,6	5,2	3,2	1,3	0,93	139
Depositsioon 2022 aastal (kg/ha)				3,1	2,2	2,7	42	23	14	5,9	4,1	38

*Võravee koguse puhul on toodud summa aasta keskmise asemel.

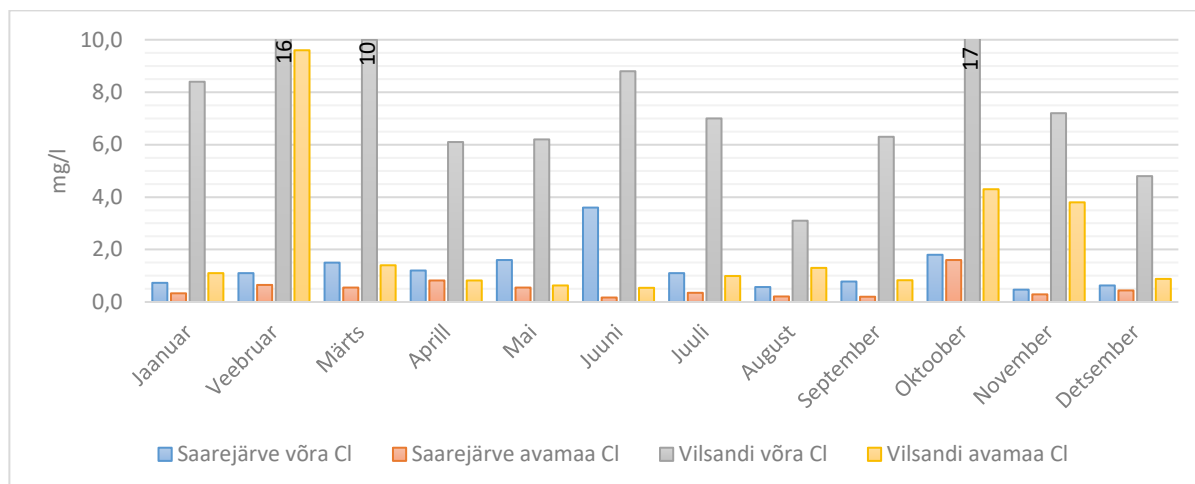
Tabel 12. Vilsandi võravee üldfosfori (P-üld), -lämmastiku (N-üld), lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ja raskmetallide sisaldused 2023. aastal.

	P-üld (mg/l)	N-üld (mg/l)	DOC (mg/l)	Mn (µg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)
Jaanuar	<0,020	0,93	20	60	0,12	<1,0	0,17	0,54	7,5
Veebruar	0,031	1,3	5,3	43	0,050	<1,0	0,15	0,62	7,8
Märts	0,027	0,96	13	18	0,030	3,3	1,2	0,96	4,3
Aprill	0,24	5,4	22	38	0,079	2,0	0,29	0,33	22
Mai	0,10	4,9	46	100	0,092	3,1	0,70	0,69	21
Juuni	0,66	6,5	72	4,7	0,018	0,99	0,28	0,17	9,6
Juuli	0,42	1,9	33	41	0,045	2,4	0,40	0,17	14
August	0,16	1,4	19	50	0,033	1,1	0,15	0,19	14
September	0,36	4,1	25	74	0,030	0,83	0,11	0,17	10
Oktoober	0,072	1,3	19	130	0,098	0,99	0,18	0,10	21
November	0,037	0,82	13	32	0,085	0,43	0,079	0,14	6,2
Detsember	<0,020	0,53	2,3	3,4	0,027	0,24	0,084	0,54	4,2
2023 kaalutud keskmine	0,10	1,3	16	48	0,058	1,1	0,26	0,39	9,9
Depositsioon (kg/ha)	0,44	5,9	70	0,21	0,00026	0,0047	0,0012	0,0017	0,044
2022 kaalutud keskmine	0,18	2,0	17	36	0,055	3,6	0,92	1,0	11
Depositsioon 2022 aastal	0,79	8,7	73	0,16	0,00024	0,016	0,0041	0,0046	0,049

Vilsandi võravees on mitmete näitajate kuu keskmised kontsentratsioonid kõrgemad Saarejärve männiku võravee proovide vastavate näitajate sisaldustest. Erandiks on mangaani sisaldused, mis on Saarejärvel enamasti kõrgemad (**Joonis 13**). Sarnaselt eelnevale aastale jäid 2023. aasta suvekuudel Saarejärvel NO₃-N sisaldused mitmel korral alla meetoodika määramispiiri (<0,020 mg/l). Vilsandi võravee kõrgemad näitajate kontsentratsioonid on seletatavad Vilsandi seireala ümbritseva mere

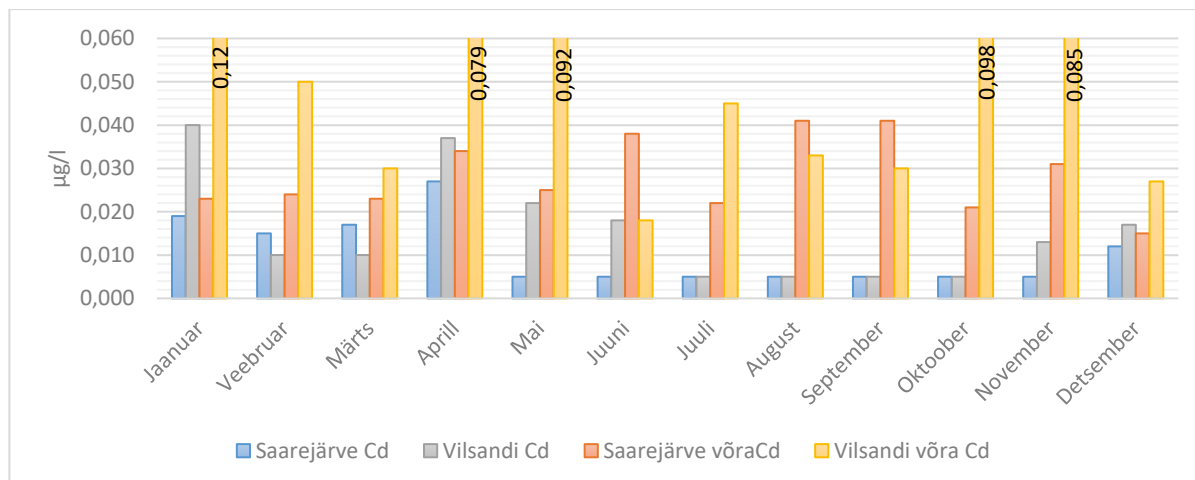


mõjuga, teiselt poolt aga Vilsandi seireala tihedama võrastikuga, mistõttu olid proovid kontsentreeritumad. Mere lähedus mõjutab kõige enam kloriidiooni sisaldusi sademetes³(Joonis 9).



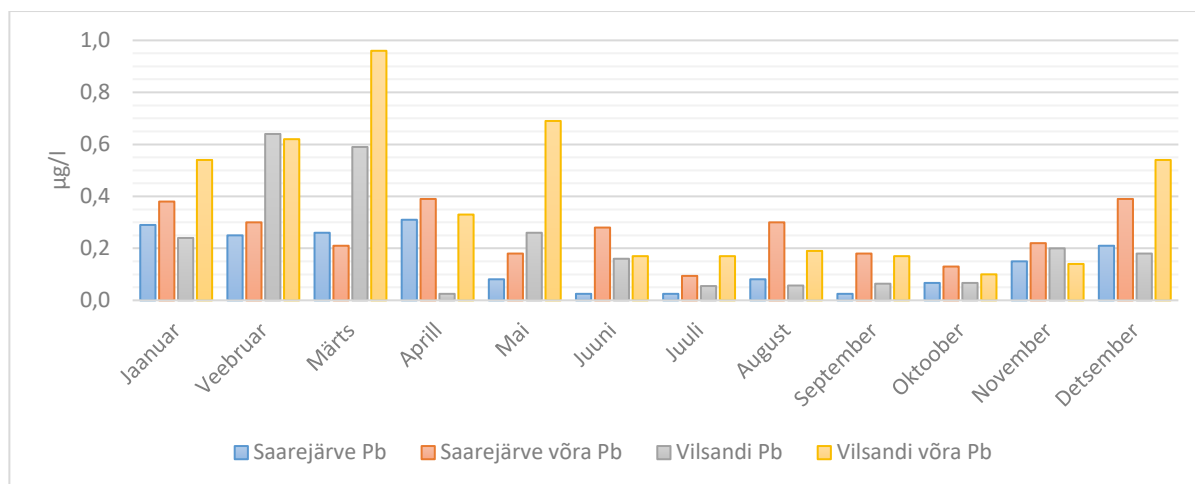
Joonis 9. Kloriidi sisaldused võraves ja avamaa sademetes 2023. aastal.

Järgnevatel joonistel on näidatud Saarejärve ja Vilsandi avamaa sademete ja võraves 2023. aasta Cd (Joonis 10), Pb (Joonis 11), Ni (Joonis 12) ja Mn (Joonis 13) kontsentratsioonid kuude kaupa. Raskmetallide sisaldused avamaa sademetes olid enamasti madalamad kui võraves proovides ja kõrgemad aasta esimeses pooles. Sarnaselt eelneva aasta tulemustega on märgatav, et Saarejärve männiku võraves esinesid väga kõrged Mn sisaldused.

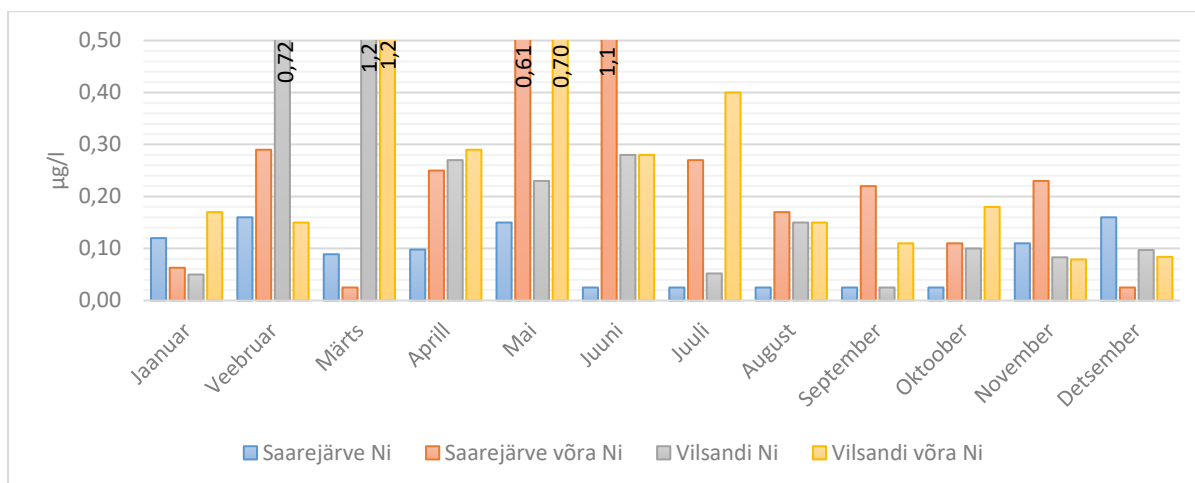


Joonis 10. Kaadmiumi sisaldused avamaa ja võrasademetes 2023. aastal.

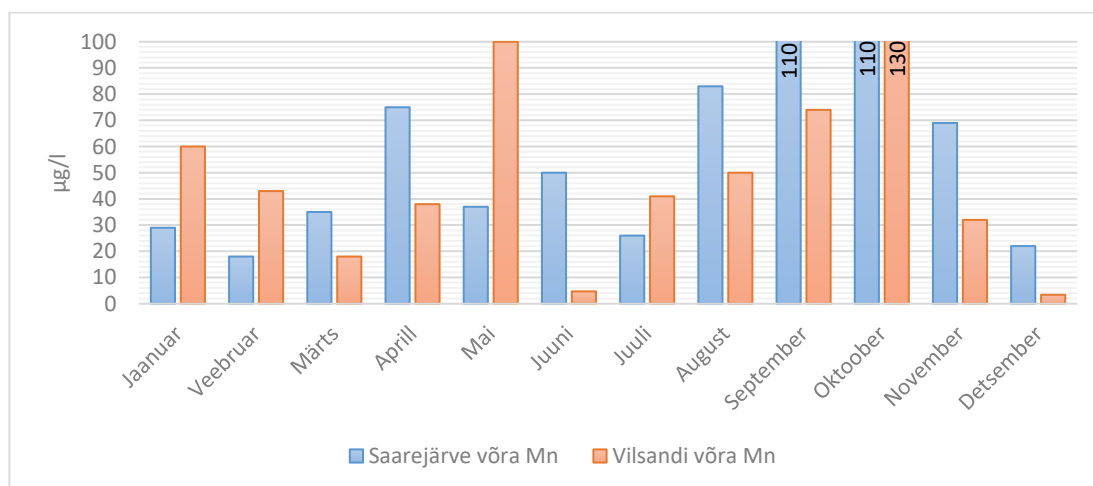
³ Möller, D. 1990. The Na/Cl ratio in rainwater and the seasalt chloride cycle. <https://doi.org/10.3402/tellusb.v42i3.15216>



Joonis 11. Plii sisaldused avamaa ja võrasademetes 2023. aastal.



Joonis 12. Nikli sisaldused avamaa ja võrasademetes 2023. aastal.



Joonis 13. Mangaani sisaldus võravees 2023. aastal.

Trendide analüüsi põhjal on Saarejärve männiku võravees (aastatel 2014 - 2023) vähenenud SO₄-S ja kaltsiumi (Joonis 14) sisaldused ning elektrijuhtivus ja pH. Vilsandi võravees on märgatav kaaliumi, plii,

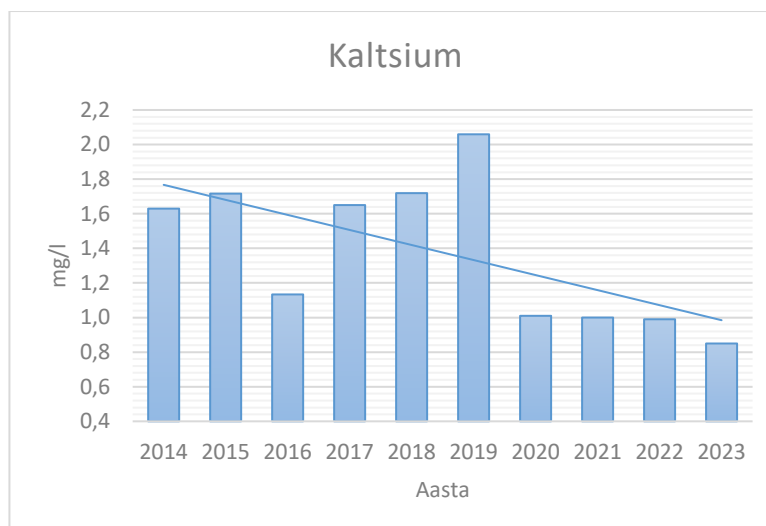


üldlammastiku ja üldfosfori sisalduste vähenemine ning pH suurenemine viimase kümne seireaasta jooksul (**Tabel 13**). Nii Saarejärvel kui Vilsandil näitavad trendid NO₃-N, magneesiumi, lahustunud orgaanilise süsiniku ja kaadmiumi, vase ning nikli sisalduste vähenemist võraveses (**Joonis 15**).

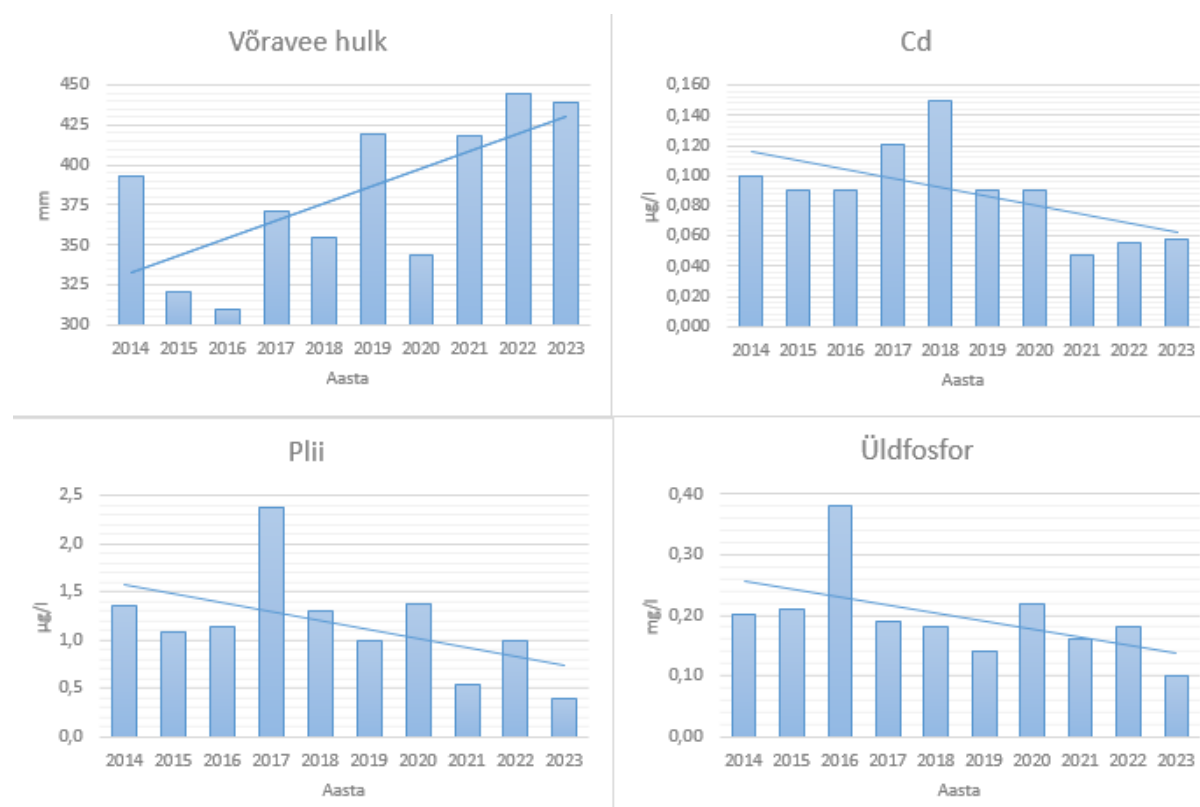
Tabel 13. Saarejärve ja Vilsandi võravee olulisemad trendid aastatel 2014-2023.

Muutus “↓” vähenemine ja “↑” suurenemine. Olulisustõenäosuse (p) tasemed ***0,001; **0,01; *0,05 ja +0,1.

Seirejaam	Maatriks	Näitaja	Algusaasta	Lõppaasta	Muutus	Trend
Saarejärve	võravesi	pH	2014	2023	↓	*
Saarejärve	võravesi	NO ₃ -N	2014	2023	↓	*
Saarejärve	võravesi	SO ₄ -S	2014	2023	↓	*
Saarejärve	võravesi	Ca	2014	2023	↓	+
Saarejärve	võravesi	Mg	2014	2023	↓	**
Saarejärve	võravesi	Cd	2014	2023	↓	*
Saarejärve	võravesi	Cu	2014	2023	↓	*
Saarejärve	võravesi	Ni	2014	2023	↓	*
Saarejärve	võravesi	el. Juht.	2014	2023	↓	**
Saarejärve	võravesi	DOC	2014	2023	↓	+
Vilsandi	võravesi	mm	2014	2023	↑	+
Vilsandi	võravesi	pH	2014	2023	↑	**
Vilsandi	võravesi	NO ₃ -N	2014	2023	↓	*
Vilsandi	võravesi	Mg	2014	2023	↓	*
Vilsandi	võravesi	K	2014	2023	↓	*
Vilsandi	võravesi	Cd	2014	2023	↓	+
Vilsandi	võravesi	Cu	2014	2023	↓	*
Vilsandi	võravesi	Ni	2014	2023	↓	**
Vilsandi	võravesi	Pb	2014	2023	↓	+
Vilsandi	võravesi	P-üld	2014	2023	↓	+
Vilsandi	võravesi	N-üld	2014	2023	↓	*
Vilsandi	võravesi	DOC	2014	2023	↓	**



Joonis 14. Muutused kaltsiumi sisaldustes Saarejärve võraves.



Joonis 15. Olulisemad trendid Vilsandi võraves.



3.4 Tüvevoolu keemia

Tüvevoolu analüüsi peamiseks eesmärgiks on koguda informatsiooni nii märg- kui ka kuivdepositsiooni osas. Mööda tüvesid voolav vihmavesi peseb osaliselt maha ka sinna kuivsadenedemise käigus langenud ühendid. Samuti sisaldab tüvevesi puude enda koorest väljapestud aineid.

Saarejärvel kogutakse tüvevett männiku seirealal kolme puutüve ümber spiraalselt asuva voolikuga ja 10-liitrise kanistritega. Tüvevee kogumiseks on Vilsandi seirealal voolikud asetatud spiraalselt ümber 10 männi tüve. Tüvevee kogumiseks kasutatakse 20-liitriseid kaanega plastämbreid.

Saarejärve männikus koguti 2023. aastal tüvevee proove jaanuarist detsembrini (**Tabel 14** ja **Tabel 15**), Vilsandil märtsist detsembrini (**Tabel 16** ja **Tabel 17**). Saarejärvel ei õnnestunud tüvevett saada mais ning Vilsandil mais ja juunis sademete vähesuse tõttu. Tüvevee kogused pinnaühiku kohta on võravee ja avamaa sademetega võrreldes väikesed, kuid mööda tüvesid kogujatesse voolava vee ionide ja muude elementide sisaldused on reeglina mitmeid kordi kõrgemad. Enamikes kuu keskmistes tüvevee proovides jäid mõlemal kompleksseire alal $\text{NO}_3\text{-N}$ ja $\text{NH}_4\text{-N}$ sisaldused alla analüüsimetoodika määramispiiri (vastavalt $<0,020 \text{ mgN/l}$ ja Saarejärvel $\text{NH}_4\text{-N}$ $<0,010 \text{ mgN/l}$, Vilsandil $\text{NH}_4\text{-N}$ $<0,016 \text{ mgN/l}$).

Mändide tüved on sademetele üsna hästi avatud, sest puu võrad pole nii tihedad ning seeläbi jõuavad tüvevooluga maapinnani üsna hästi sademetes sisalduvad ühendid. Lisaks on männi tüvekoor looduslikult happelise reaktsiooniga, mille tõttu on hüdrokarbonaatide sisaldus madal või ei esine anorgaaniline süsinik hüdrokarbonaadina. Antud tendents on hästi nähtav just Saarejärvel (vt. HCO_3 sisaldusi **Tabel 14**).


Tabel 14. Saarejärve tüvevees analüüsitud ühendite kontsentratsioonid 2023. aastal.

	Tüve- vee kogus (mm)*	pH	Elektri- juhtivus (µS/cm)	SO ₄ -S (mg/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	NH ₄ -N (mgN/l)	Nüld (mg/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	HCO ₃ (µekv/l)
Jaanuar	3,7	4,2	41	0,26	<0,020	0,041	0,63	2,9	0,90	2,2	1,4	0,21	pH<4,5
Veebruar	0,15	4,4	28	0,37	<0,020	0,052	0,72	3,1	1,2	1,9	2,4	0,33	pH<4,5
Märts	0,32	4,3	41	0,32	0,10	0,11	1,0	3,7	1,5	1,8	2,4	0,45	pH<4,5
Aprill	0,14	5,9	57	0,92	0,14	2,0	3,5	3,1	1,6	3,1	3,8	0,80	215
Juuni	0,19	5,2	82	0,26	<0,020	0,099	11	6,0	2,2	14	8,3	1,3	142
Juuli	1,7	4,1	76	0,059	<0,020	<0,010	1,2	3,9	1,7	5,5	5,0	0,82	pH<4,5
August	0,65	4,1	64	0,11	<0,020	0,022	2,2	2,2	1,4	4,1	4,4	0,70	pH<4,5
September	0,80	4,1	75	0,23	<0,020	<0,010	1,6	2,7	1,5	5,3	5,0	0,76	pH<4,5
Oktoober	2,4	4,1	68	0,23	<0,020	0,044	1,3	4,1	1,6	3,8	3,3	0,50	pH<4,5
November	0,27	4,1	42	0,073	<0,020	0,24	2,4	1,9	1,3	3,3	2,9	0,47	pH<4,5
Detsember	3,5	4,1	60	0,39	<0,020	0,10	1,6	2,8	1,8	3,5	2,1	0,45	pH<4,5
2023 kaalutud keskmine	14*	4,1	58	0,26	0,013	0,076	1,4	3,2	1,5	3,7	2,9	0,48	
Depositsioon (kg/ha)				0,036	0,0019	0,010	0,19	0,44	0,20	0,51	0,40	0,067	0,034
2022 kaalutud keskmine	22*	4,3	49	0,28	0,041	0,061	1,1	2,8	0,98	3,2	2,3	0,32	
Depositsioon 2022. aastal (kg/ha)				0,062	0,0090	0,013	0,23	0,61	0,22	0,70	0,49	0,071	0,013

*Tüvevee koguse puhul on toodud aasta keskmise asemel summa.

Tabel 15. Saarejärve tüvevees analüüsitud metallide, lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ja üldfosfori kontsentratsioonid 2023. aastal.

	DOC (mg/l)	Al (µg/l)	Mn (µg/l)	Fe (mg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Püld (mg/l)
Jaanuar	32	97	87	0,025	0,071	1,0	0,12	0,29	76	0,025
Veebruar	20	52	60	0,053	0,059	0,99	0,19	0,22	77	0,087
Märts	28	120	100	0,044	0,079	0,94	0,13	0,28	91	0,064
Aprill	30	76	60	0,068	0,065	3,2	0,17	0,30	130	0,59
Juuni	77	380	320	0,10	0,10	3,5	1,2	0,56	260	1,6
Juuli	110	490	260	0,079	0,22	2,4	0,55	0,63	150	0,014
August	34	270	210	0,063	0,16	2,0	0,38	0,58	120	0,083



	DOC (mg/l)	Al (µg/l)	Mn (µg/l)	Fe (mg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Püld (mg/l)
September	90	390	220	0,069	0,17	2,3	0,42	0,46	92	0,053
Oktoober	40	280	180	0,055	0,13	1,4	0,31	0,36	100	0,040
November	47	150	160	0,044	0,12	1,7	0,27	0,34	78	0,42
Detsember	60	190	130	0,060	0,11	1,5	0,39	0,39	160	0,038
2023 kaalutud keskmine	54	231	153	0,053	0,12	1,6	0,32	0,40	117	0,070
Depositsioon (kg/ha)	7,5	0,032	0,021	0,0073	0,000017	0,00022	0,000045	0,000055	0,016	0,0096
2022 kaalutud keskmine	43	192	112	0,033	0,097	1,6	0,18	0,41	52	0,053
Depositsioon 2022. aastal (kg/ha)	9,5	0,042	0,025	0,0073	0,000021	0,00036	0,000039	0,000089	0,011	0,012

Tabel 16. Vilsandi tüvevees analüüsitud ühendite kontsentratsioonid 2023. aastal.

	Tüvevee kogus (mm)*	pH	Elektri- juhtivus (µS/cm)	SO ₄ -S (mgS/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	NH ₄ -N (mgN/l)	Nüld (mg/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	HCO ₃ (µekv/l)
Märts	0,050	4,1	307	2,4	0,080	0,080	2,0	74	30	12	10	5,1	pH<4,5
Aprill	0,0017	6,5	163	3,7	1,2	8,1	13	14	8,2	4,6	4,1	1,4	510
Juuli	0,029	4,5	302	2,2	0,19	2,0	6,4	49	28	17	12	5,7	61
August	0,17	4,0	230	0,93	<0,020	<0,016	0,61	32	21	11	7,0	2,7	pH<4,5
September	0,15	4,6	77	0,40	<0,020	0,33	2,5	8,7	7,5	4,3	2,6	0,90	<40
Oktoober	0,11	3,7	548	3,1	<0,020	<0,016	2,9	120	47	18	16	9,4	pH<4,5
November	0,25	3,9	245	1,7	<0,020	<0,016	1,4	44	22	6,8	4,9	2,6	pH<4,5
Detsember	0,081	4,1	123	1,1	<0,020	<0,016	1,1	18	9,9	3,9	2,1	0,94	pH<4,5
2023 kaalutud keskmine	0,84*	4,0	244	1,5	0,023	0,15	1,8	44	22	9,0	6,6	3,3	
Depositsioon (kg/ha)				0,013	0,00019	0,0013	0,015	0,37	0,18	0,075	0,055	0,027	0,0034
2022 kaalutud keskmine	0,39*	4,2	150	1,1	0,22	0,45	3,0	26	17	7,4	5,0	2,1	
Depositsioon 2022. aastal (kg/ha)				0,0041	0,00084	0,0018	0,011	0,10	0,064	0,029	0,019	0,0082	0,018

*Tüvevee koguse puhul on toodud aasta keskmise asemel summa.



Tabel 17. Vilsandi tüvevees analüüsitud metallide, lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ja üldfosfori kontsentratsioonid 2023. aastal.

	DOC (mg/l)	Al (µg/l)	Mn (µg/l)	Fe (mg/l)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Püld (mg/l)
Märts	480	150	160	0,097	0,36	6,3	2,0	2,2	79	0,063
Aprill	33	<50	32	0,034	0,043	2,8	0,40	0,26	24	2,7
Juuli	210	290	180	0,14	0,35	6,4	1,3	1,3	70	0,33
August	32	180	100	0,084	0,22	4,9	1,5	0,91	47	0,26
September	24	62	27	0,032	0,063	1,9	0,20	0,37	14	0,088
Oktoober	130	140	340	0,085	0,66	3,2	1,2	0,65	100	0,095
November	19	73	110	0,057	0,20	2,2	0,42	0,38	33	0,024
Detsember	52	<50	36	0,036	0,068	1,3	0,25	0,40	25	0,10
2023 kaalutud keskmine	74	108	120	0,065	0,24	3,1	0,81	0,66	44	0,12
Depositsioon (kg/ha)	0,62	0,00091	0,0010	0,00054	0,0000020	0,000026	0,0000067	0,0000055	0,00037	0,00098
2022 kaalutud keskmine	98	138	65	0,096	0,22	9,2	1,7	2,6	47	0,15
Depositsioon 2022. aastal (kg/ha)	0,38	0,00054	0,00025	0,00037	0,00000087	0,000036	0,0000067	0,000010	0,00018	0,00057

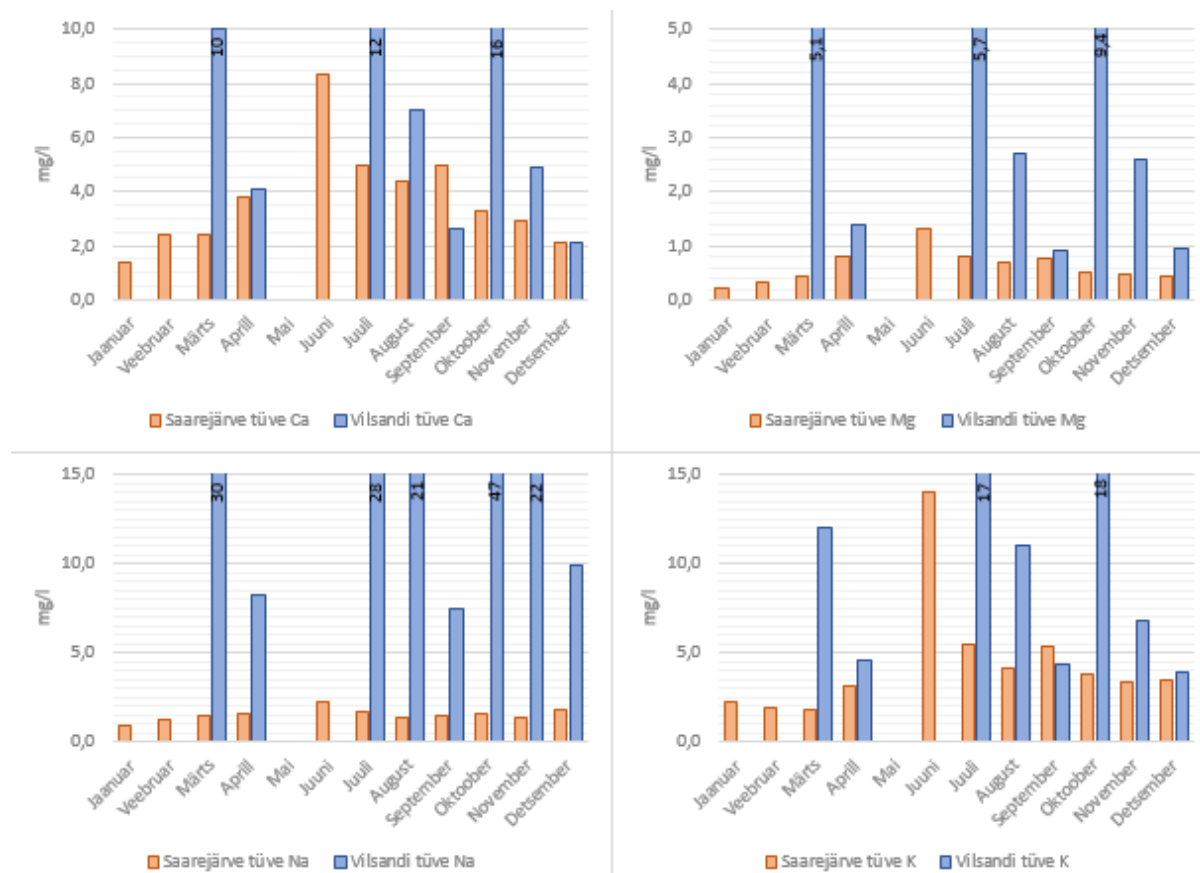
Saarejärve männikus kogunes tüvevett 2023. aasta jooksul kokku 14 mm (**Tabel 14**), mis moodustab vaid 2,4% avamaa sademete hulgast. Kõige suuremal hulgal liikus vett mööda männi tüvesid kogujasse jaanuaris (3,7 mm) ja kõige vähem aprillis (0,14 mm). Männiku tüvevee pH jäi enamasti pH 4,1 juurde. Saarejärve männikus olid keskmisest kõrgemad tüvevee sulfaatse väevli sisaldused aasta esimeses pooles, üldlammastiku sisaldused enamasti aasta teises pooles ning üldfosfori sisaldused teises kvartalis ja augustis ning novembris. 2023. aasta jooksul jõudis Saarejärve männikus tüveveega maapinnani lahustunud orgaanilist süsinikku 7,5 kg/ha, sulfaatset väevlit 0,036 kg/ha, lammastikku 0,19 kg/ha, üldfosforit 0,0096 kg/ha, Al 32 g/ha, Mn 21 g/ha, Fe 7,3 g/ha ja Zn 16 g/ha.

2023. aastal õnnestus Vilsandil tüvevee proove koguda 0,84 mm (**Tabel 16**), mis moodustab vaid 0,11% avamaa sademete hulgast. 2022. aastal jäi pH vahemikku 3,8-5,1 (vaid novembris oli pH 7,0). 2023. aastal varieerus pH vahemikus 3,7-4,6, välja arvatud aprillis, mil pH oli 6,5. 2023. aasta keskmine tüvevee pH Vilsandil oli 4,0. 2023. aastal jõudis Vilsandi seirealal tüveveega maapinnani lahustunud orgaanilist süsinikku 0,62 kg/ha, Na 0,18 kg/ha, Cl 0,37 kg/ha, Al 0,91 g/ha, Fe 0,54 g/ha, Mn 1,0 g/ha. Sulfaatse väevli sisaldused olid kõrgeimad aprillis (3,4 mgS/l) ja madalamad sügise alguses (septembris 0,40 mgS/l). 2023. aasta keskmine tüvevee elektrijuhtivus oli 244 µS/cm.

Igakuised anioonide ja katioonide kontsentratsioonid on Vilsandi tüvevee proovides kõrgemad kui Saarejärvel ning kohati ka suurema varieeruvusega (vt. Mg sisaldusi) (**Joonis 16**). Sarnaselt eelmise



aasta tulemustega on ka seekord Saarejärve tüvevee proovides Mn ja Zn sisaldused kõrgemad kui Vilsandil. Vilsandi tüvevees on vase ja nikli sisaldused oluliselt kõrgemad kui Saarejärve tüvevees.



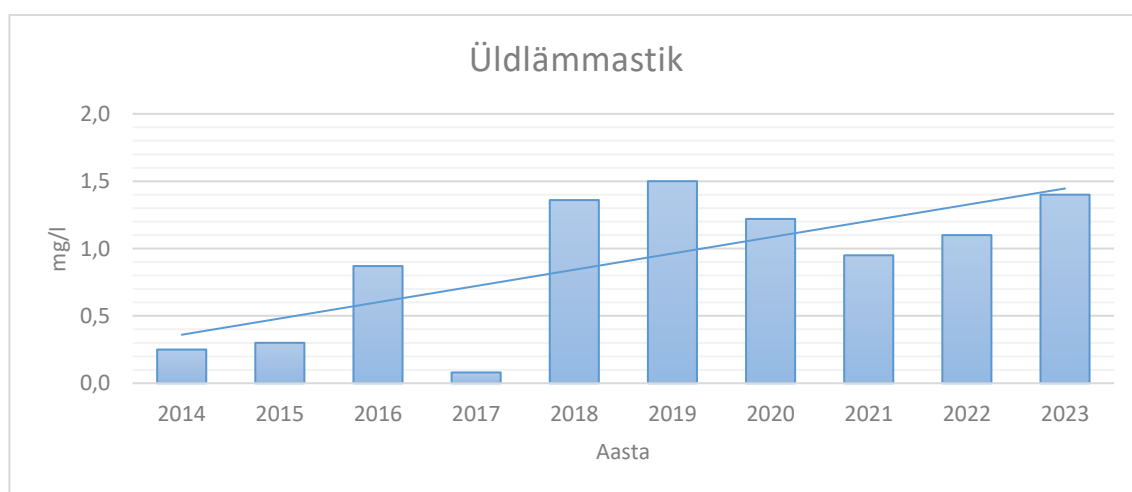
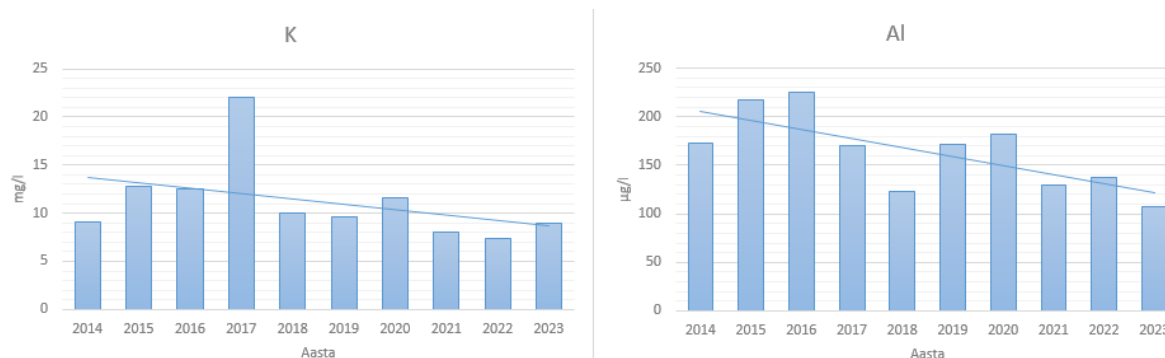
Joonis 16. Kaltsiumi, magneesiumi, naatriumi ja kaaliumi sisaldused tüvevees 2023. aastal.

Saarejärve männiku seireala tüvevees on aastatel 2014-2023 vähenenud $\text{SO}_4\text{-S}$, Cu, Pb ja lahustunud orgaanilise süsiniku kontsentratsioonid ning viimase 10 aasta jooksul on suurenenud üldlämmastiku sisaldused (Joonis 17). Trendianalüüsi põhjal on Vilsandi seirealal tüvevees (aastatel 2014-2023) vähenenud $\text{SO}_4\text{-S}$, kaaliumi, nikli, alumiiniumi (Joonis 18) ja lahustunud orgaanilise süsiniku sisaldused (Tabel 18).


Tabel 18. Saarejärve ja Vilsandi võrreev olulisemad trendid aastatel 2014-2023.

Muutus “↓” vähenemine ja “↑” suurenemine. Olulisustõenäosuse (p) tasemed ***0,001; **0,01; *0,05 ja +0,1.

Seirejaam	Maatriks	Näitaja	Algusaasta	Lõppaasta	Muutus	Trend
Saarejärve	tüvevesi	SO4-S	2014	2023	↓	**
Saarejärve	tüvevesi	Cu	2014	2023	↓	*
Saarejärve	tüvevesi	Pb	2014	2023	↓	*
Saarejärve	tüvevesi	N-üld	2014	2023	↑	+
Saarejärve	tüvevesi	DOC	2014	2023	↓	*
Vilsandi	tüvevesi	SO4-S	2014	2023	↓	*
Vilsandi	tüvevesi	K	2014	2023	↓	+
Vilsandi	tüvevesi	Ni	2014	2023	↓	*
Vilsandi	tüvevesi	DOC	2014	2023	↓	*
Vilsandi	tüvevesi	Al	2014	2023	↓	+


Joonis 17. Muutused üldlämmastiku sisaldustes (mg/l) Saarejärve tüvevees viimastel aastatel.

Joonis 18. Muutused kaaliumi (mg/l) ja alumiiniumi (µg/l) sisaldustes Vilsandi tüvevees viimastel aastatel.

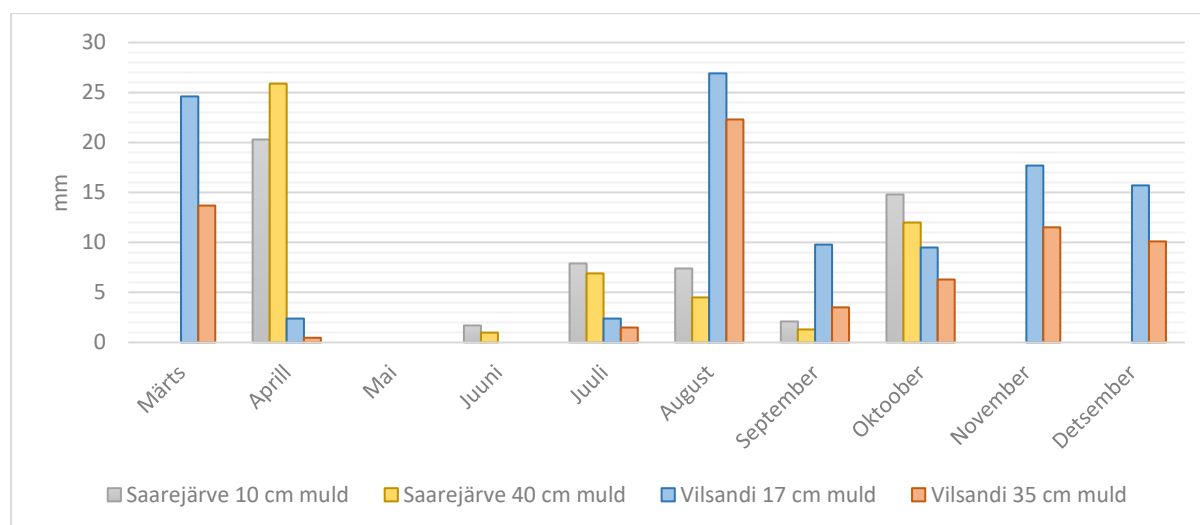


3.5 Mullavee keemia

Mullavesi on oluliseks lüliks ökosüsteemi ainevoogudes. Elementide sisaldused mullavees on seotud nii võraveega väljapestavate ühenditega kui ka läbi pinnase filtreerumisel mullast väljauhtuvate ühendite sisaldustega.

Mullavett kogutakse 12 plaatlüsimeetriga ($S = 0,1 \text{ m}^2$), mis on Saarejärvel asetatud paralleelselt maapinnaga 10 ja 40 cm sügavusele. Vilsandil on lüsimeetrid asetatud 17 ja 35 cm sügavusele.

Lüsimeetriga kogutud mulla nõrgvesi moodustas Saarejärvel 12% ja Vilsandil 25% võravee aastasest kogusest (**Joonis 19**). Saarejärvelt koguti mullavett aprillist oktoobrini, Vilsandil märtsist aasta lõpuni. Sademete vähesuse tõttu ei kogunenud Saarejärvel mullavett mais ning Vilsandil mais ja juunis.



Joonis 19. Mullavee kogus (mm) Saarejärvel ja Vilsandil 2023. aastal.

Saarejärve männikus mõõdeti 2023. aasta jooksul 10 cm sügavusel mullavee koguseks 54 mm (**Tabel 19** ja **Tabel 20**). Aasta keskmine mullavee pH oli 4,0, jäädes kõikidel kuudel alla 4,4. Vooluhulk ehk läbi pinnase nõrguv sademete kogus sõltub sademete hulgast ning arvutamisel arvestatakse ka kogumispindala ja aega. Aprillis jõudis sügavamatesse kihtidesse rohkem vett, mis on tõenäoliselt tingitud sellest, et eelneval aastal esinenud väga kuiva perioodi tõttu olid pindmised pinnase kihid kuivad ning allpool ei olnud veel piisavalt vett ja sademed lihtsalt imbusid ülemistest kihtidest kiiresti läbi. 2023. aasta jooksul deponeerus Saarejärve männikus mullaveega 10 sentimeetri sügavuselt sügavamatesse mullakihtidesse lahustunud orgaanilist süsinikku 44 kg/ha, K 1,6 kg/ha, Ca 1,7 kg/ha, Cl 1,0 kg/ha, üldN 1,1 kg/ha, üldAl 0,55 kg/ha, Cr 1,7 g/ha, Ni 2,3 g/ha, Pb 3,7 g/ha ja Zn 6,9 g/ha.

Tabel 19. Saarejärve 10 cm sügavusel mullavees analüüsitud näitajate kontsentratsioonid 2023. aastal.

	Mullavee kogus (mm)*	pH	Elektri-juhtivus (µS/cm)	NH ₄ -N (mgN/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	SO ₄ -S (mgS/l)	Cl (mg/l)	DOC (mg/l)	SiO ₂ (mg Si/l)
Aprill	20	4,0	64	0,045	0,24	2,7	0,48	1,8	0,82	0,29	1,8	59	1,4
Juuni	1,7	4,4	73	0,048	<0,020	2,0	0,41	15	1,4	0,068	4,7	78	0,65
Juuli	7,9	4,1	61	0,010	<0,020	2,8	0,47	5,3	1,2	0,13	1,8	81	0,36



	Mullavee kogus (mm)*	pH	Elektri-juhtivus (µS/cm)	NH ₄ -N (mgN/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	SO ₄ -S (mgS/l)	Cl (mg/l)	DOC (mg/l)	SiO ₂ (mg Si/l)
August	7,4	4,0	76	0,040	0,10	3,5	0,66	4,2	1,1	0,17	1,6	91	1,6
September	2,1	3,9	82	0,11	0,50	2,9	0,53	2,6	0,96	0,19	1,8	75	1,3
Oktoober	15	3,8	106	0,069	0,028	3,9	0,56	1,3	1,2	0,25	1,8	110	2,3
2023 kaalutud keskmine	54*	4,0	78	0,048	0,13	3,1	0,52	3,0	1,0	0,23	1,9	82	1,5
Depositsioon (kg/ha)				0,026	0,072	1,7	0,28	1,6	0,56	0,12	1,0	44	0,81
2022 kaalutud keskmine	71*	4,0	60	0,11	0,10	1,8	0,35	2,1	0,68	0,25	1,6	49	1,2
Depositsioon 2022 aastal (kg/ha)				0,074	0,073	1,3	0,25	1,5	0,48	0,18	1,2	35	0,83

*Mullavee koguse puhul on toodud aasta keskmise asemel summa.

Tabel 20. Metallide, üldlämmastiku ja -fosfori sisaldused Saarejärvel 10 cm sügavusel mullavees.

	Nüüd (mg/l)	Püld (µg/l)	Al-üld (µg/l)	Al ioon (µg/l)	Mn (µg/l)	Fe (mg/l)	Cd (µg/l)	Cr (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Vooluhulk (l/s)
Aprill	1,9	103	1300	95	85	0,62	0,12	2,9	1,0	5,3	7,1	8,3	1,3
Juuni	2,8	350	290	<50	130	0,17	0,064	1,1	2,0	2,2	3,9	14	0,11
Juuli	1,6	113	180	<50	190	0,12	0,050	0,73	1,3	1,3	2,0	21	0,49
August	2,0	146	630	<50	120	0,30	0,099	1,7	2,2	2,8	6,1	13	0,46
September	2,3	151	550	<50	87	0,24	0,077	2,2	2,1	2,6	4,8	11	0,13
Oktoober	2,3	79	1400	66	110	0,73	0,13	5,7	1,6	5,8	9,9	14	0,92
2023 kaalutud keskmine	2,0	114	1012	62	113	0,50	0,11	3,1	1,4	4,3	6,8	13	0,49
Depositsioon (kg/ha)	1,1	0,062	0,55	0,034	0,061	0,27	0,000058	0,0017	0,00078	0,0023	0,0037	0,0069	
2022 kaalutud keskmine	1,2	119	519	<50	59	0,24	0,076	2,6	1,1	4,3	4,6	8,7	0,64
Depositsioon 2022 aastal (kg/ha)	0,88	0,084	0,37	0,018	0,042	0,17	0,000054	0,0018	0,00080	0,0030	0,0033	0,0062	

Saarejärve männikus koguti 40 cm sügavuselt mullavett 52 mm (**Tabel 21** ja **Tabel 22**). Mullavee aasta keskmine pH oli 3,9. Aasta jooksul deponeerus männikus 40 sentimeetri sügavuselt sügavamatesse mulla kihtidesse lahustunud orgaanilist süsinikku 35 kg/ha, kaltsiumi 1,1 kg/ha, kaaliumi 1,0 kg/ha,



üldlämmastikku ja lahustunud silikaate samuti 1,0 kg/ha, Cr 2,0 g/ha, Ni 2,6 g/ha, Pb 4,7 g/ha ja Zn 6,0 g/ha.

Alumiiniumi ja lahustunud silikaatide kontsentratsioonide suurenemine mõlemas sügavusastmes viitab mulla hapestumisele, pH tase on võrreldes eelmise seireaastaga jäänud ülemises kihis samaks ning sügavamal langenud.

Tabel 21. Saarejärve 40 cm sügavusel mullavees analüüsitud näitajate kontsentratsioonid 2023. aastal.

	Mullavee kogus (mm)*	pH	Elektri-juhtivus (µS/cm)	NH ₄ -N (mgN/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	SO ₄ -S (mgS/l)	Cl (mg/l)	DOC (mg/l)	SiO ₂ (mg Si/l)
Aprill	26	3,9	60	0,23	0,17	1,3	0,38	0,83	0,93	0,26	1,6	52	2,0
Juuni	0,98	4,7	42	1,1	0,11	1,2	0,29	4,6	0,68	0,51	2,8	40	0,79
Juuli	6,9	4,1	50	0,49	0,11	1,6	0,19	2,9	0,57	0,25	1,4	47	0,79
August	4,5	3,8	85	0,32	0,085	1,9	0,34	2,7	0,87	0,21	1,5	79	1,5
September	1,3	4,0	70	1,1	0,28	2,6	0,46	2,7	0,86	0,32	2,6	67	1,6
Oktoober	12	3,9	99	0,099	0,024	4,7	0,89	3,2	1,3	0,27	2,1	110	2,8
2023 kaalutud keskmine	52*	3,9	70	0,28	0,12	2,2	0,47	1,9	0,96	0,26	1,7	67	1,9
Depositsioon (kg/ha)				0,14	0,063	1,1	0,24	1,0	0,49	0,14	0,89	35	1,0
2022 kaalutud keskmine	50*	4,1	48	0,22	0,12	1,1	0,29	1,8	0,71	0,26	1,6	39	1,4
Depositsioon 2022 aastal (kg/ha)				0,11	0,061	0,54	0,15	0,89	0,36	0,13	0,78	20	0,68

*Mullavee koguse puhul on toodud aasta keskmise asemel summa.

Tabel 22. Metallide, üldlämmastiku ja -fosfori sisaldused Saarejärvel 40 cm sügavusel mullavees.

	Nüld (mg/l)	Püld (µg/l)	Al-üld (µg/l)	Al ioon (µg/l)	Mn (µg/l)	Fe (mg/l)	Cd (µg/l)	Cr (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Vooluhulk (l/s)
Aprill	1,7	100	1300	210	44	0,54	0,13	3,5	2,0	5,1	6,8	9,4	1,7
Juuni	2,6	454	670	<50	62	0,38	0,068	2,5	1,2	2,5	5,3	6,4	0,063
Juuli	1,7	437	330	<50	32	0,21	0,076	1,7	1,1	3,1	5,7	13	0,43
August	2,2	138	1100	91	54	0,52	0,14	4,0	2,1	4,9	10	11	0,28
September	2,9	225	1000	61	71	0,53	0,23	6,1	3,4	5,2	11	12	0,084
Oktoober	2,6	96	1900	120	140	0,84	0,38	5,7	5,8	6,4	16	16	0,75



	Nüld (mg/l)	Püld (µg/l)	Al- üld (µg/l)	Al ioon (µg/l)	Mn (µg/l)	Fe (mg/l)	Cd (µg/l)	Cr (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Vooluhulk (l/s)
2023 kaalutud keskmine	2,0	158	1272	147	67	0,56	0,18	3,9	2,8	5,1	9,2	12	0,47
Depositsioon (kg/ha)	1,0	0,081	0,66	0,076	0,034	0,29	0,000094	0,0020	0,0014	0,0026	0,0047	0,0060	
2022 kaalutud keskmine	1,2	136	996	162	44	0,40	0,10	3,4	1,8	4,1	5,0	7,6	0,46
Depositsioon 2022 aastal (kg/ha)	0,63	0,069	0,50	0,082	0,022	0,20	0,000053	0,0017	0,00089	0,0021	0,0025	0,0039	

Vilsandil koguti 2023. aasta jooksul 17 cm sügavusest mullavett 109 mm (**Tabel 23** ja **Tabel 24**). Märtsi proovi puhul on tegemist talvise veega (jaanuar-märts 2023). Kui varasematel aastatel ei ole piisavalt vett mulda jõudnud suvekuudel, siis seekord ei kogunenud vett I sügavuskihis mais ja juunis. 17 cm sügavusel mullas jäi pH vahemikku 6,8-7,2. Aasta kaalutud keskmine pH oli 6,9 ning elektrijuhtivuseks saadi 152 µS/cm. Endiselt on 17 cm sügavuselt kogutud mullavee proovides suhteliselt kõrged Ca, Mg ja Cl sisaldused (2022. aastal vastavalt 25 mg/l, 15 mg/l, 7,3 mg/l). Euroopa muldadege võrdluses jäävad antud tulemused siiski keskmiste hulka (Euroopas Ca 0,12-75 mg/l, Mg 0,05-15 mg/l, Cl 0,16-40 mg/l).⁴ Teadmata põhjustel on nikli sisaldused endiselt kõrged. Samuti ei ole teada, mis põhjusel esinesid kõrged üldlämmastiku ja NO₃-N kontsentratsioonid aasta lõpus 17 cm sügavusel mullavees.

Mullaveega liikus 17 sentimeetri sügavuselt sügavamale kihtidesse 2023. aasta jooksul DOC 72 kg/ha, hüdrokearbonaati 75 kg/ha, Ca 20 kg/ha, Na 5,0 kg/ha, Mg 13 kg/ha, Cl 8,4 kg/ha, NO₃-N 1,4 kg/ha, üldN 4,4 kg/ha, Ni 25 g/ha ja Zn 8,1 g/ha.

Tabel 23. Vilsandi 17 cm sügavusel mullavees analüüsitud ainete kontsentratsioonid 2023. aastal.

	Mulla- vee kogus (mm)*	pH	Elektri- juhtivus (µS/cm)	NH ₄ -N (mgN/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	SO ₄ -S (mgS/l)	Cl (mg/l)	DOC (mg/l)	HCO ₃ (µekv/l)
Märts	25	7,0	130	<0,010	0,38	15	10	0,21	4,8	1,0	6,9	62	982
Aprill	2,4	7,2	152	0,025	0,68	20	13	0,19	4,5	0,91	9,2	55	1134
Juuli	2,4	7,2	136	0,056	0,24	13	8,9	3,2	5,2	0,58	13	63	836
August	27	6,8	142	0,058	0,041	17	11	0,69	4,5	0,31	5,8	71	1164
September	9,8	6,8	121	0,11	0,20	17	10	0,47	4,1	0,32	3,7	89	1082
Oktoober	9,5	7,2	149	0,048	0,46	25	14	0,43	4,1	0,67	7,4	75	1180

⁴ Nieminen TM, De Vos B, Cools N, König N, Fischer R, Iost S, Meesenburg H, Nicolas M, O'Dea P, Cecchini G, Ferretti M, De La Cruz A, Derome K, Lindroos AJ, Graf Pannatier E, 2016: Part XI: Soil Solution Collection and Analysis. In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, 20 p. + Annex [<http://www.icp-forests.org/manual.htm>]



	Mulla- vee kogus (mm)*	pH	Elektri- juhtivus (μS/cm)	NH ₄ -N (mgN/l)	NO ₃ -N (mgN/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	SO ₄ -S (mgS/l)	Cl (mg/l)	DOC (mg/l)	HCO ₃ (μekv/l)
November	18	7,0	147	0,058	0,62	18	12	0,53	4,7	0,66	12	64	1000
Detsember	16	7,0	230	0,041	7,0	21	17	0,68	5,1	1,3	9,0	51	1442
2023 kaalutud keskmine	109*	6,9	152	0,047	1,3	18	12	0,56	4,6	0,72	7,7	66	1122
Depositsioon (kg/ha)				0,051	1,4	20	13	0,61	5,0	0,78	8,4	72	75
2022 kaalutud keskmine	109*	7,0	170	0,036	1,3	25	15	0,32	6,3	0,99	7,3	73	1349
Depositsioon 2022 aastal (kg/ha)				0,039	1,4	27	17	0,34	6,9	1,1	7,9	80	90

*Mullavee koguse puhul on toodud aasta keskmise asemel summa.

Tabel 24. Metallide, üldlämmastiku ja üldfosfori sisaldused Vilsandil 17 cm sügavusel mullavees.

	Nüld (mg/l)	Püld (μg/l)	Al-üld (μg/l)	Mn (μg/l)	Fe (mg/l)	Cd (μg/l)	Cr (μg/l)	Cu (μg/l)	Ni (μg/l)	Pb (μg/l)	Zn (μg/l)	Vooluhulk (l/s)
Märts	3,0	82	750	2,8	0,82	0,11	2,6	2,3	19	1,9	4,6	4,8
Aprill	2,9	102	470	3,8	0,56	0,12	1,8	1,9	19	1,9	5,5	0,93
Juuli	2,5	70	250	2,2	0,27	0,078	1,2	2,1	22	0,99	7,4	0,99
August	3,4	94	417	2,4	0,45	0,16	1,8	3,1	39	1,2	7,9	10
September	4,3	118	520	0,22	0,55	0,15	2,1	2,7	25	1,4	7,8	3,6
Oktoober	3,8	87	580	1,3	0,59	0,21	2,9	2,9	42	1,6	10	3,6
November	3,0	67	480	0,93	0,57	0,10	1,3	2,0	10	1,7	6,2	6,6
Detsember	8,2	50	390	2,5	0,45	0,16	1,8	2,0	6,4	1,3	11	5,9
2023 kaalutud keskmine	4,0	82	519	2,0	0,57	0,14	2,0	2,5	23	1,5	7,4	3,0
Depositsioon (kg/ha)	4,4	0,089	0,57	0,0022	0,62	0,00015	0,0022	0,0027	0,025	0,0017	0,0081	
2022 kaalutud keskmine	4,4	95	510	6,9	0,63	0,13	2,0	3,0	50	1,4	14	3,1
Depositsioon 2022 aastal (kg/ha)	4,8	0,10	0,56	0,0075	0,68	0,00014	0,0021	0,0033	0,055	0,0015	0,0015	



Vilsandil seirealal koguti 35 cm sügavuselt 2023. aasta jooksul mullavett 69 mm (**Tabel 25** ja **Tabel 26**) aasta keskmine mullavee pH oli 6,4, kaalutud keskmiseks elektrijuhtivuseks saadi 166 $\mu\text{S}/\text{cm}$, olles kõrgeim nii septembris kui ka oktoobris (265 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Madalaim pH määrati augustis (pH 6,0), mil sügavamasse kihti jõudis rohkem vett. Vett ei kogunenud üldse mais ja juunis ning aprillis jäi sademete vähesuse tõttu 35 cm sügavuselt mullaveest analüüsima HCO_3^- . 2023. aasta jooksul deponeerus 35 sentimeetri sügavuselt sügavamatesse mulla kihitesse lahustunud orgaanilist süsinikku 45 kg/ha, HCO_3^- 54 kg/ha, Ca 15 kg/ha, Mg 9,0 kg/ha, Ni 39 g/ha ja Zn 7,2 g/ha.

Tabel 25. Vilsandi 35 cm sügavusel mullavees analüüsitud näitajate kontsentratsioonid 2023. aastal.

	Mulla- vee kogus (mm)*	pH	Elektri- juhtivus ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mgN/l)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mgN/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	$\text{SO}_4\text{-S}$ (mgS/l)	Cl (mg/l)	DOC (mg/l)	HCO_3 ($\mu\text{ekv}/\text{l}$)
Märts	14	6,9	124	0,010	0,48	15	8,7	0,39	5,6	0,80	5,1	64	975
Aprill	0,48	7,7	233	0,014	0,94	31	22	0,18	6,4	0,76	8,5	70	vv
Juuli	1,5	7,1	118	0,020	0,70	14	8,2	0,93	3,1	0,55	8,0	45	821
August	22	6,0	175	0,031	0,057	22	14	0,83	4,8	0,35	6,4	66	1540
September	3,5	7,0	265	0,069	4,2	34	22	0,69	7,3	0,88	8,8	86	2130
Oktoober	6,3	7,2	265	0,31	8,8	33	22	0,81	6,3	1,6	7,5	79	1803
November	11	7,1	165	0,050	0,21	24	13	0,37	4,4	0,66	11	66	1262
Detsember	10	6,7	112	0,047	2,8	13	8,0	0,66	3,1	0,93	6,2	47	639
2023 kaalutud keskmine	69*	6,4	166	0,059	1,6	21	13	0,63	4,9	0,72	7,1	65	1278
Depositsioon (kg/ha)				0,041	1,1	15	9,0	0,44	3,4	0,50	4,9	45	54
2022 kaalutud keskmine	57*	6,9	190	0,027	0,37	27	16	1,1	6,2	0,85	7,4	62	1604
Depositsioon 2022 aastal (kg/ha)				0,016	0,21	15	9,2	0,64	3,5	0,49	4,3	36	56

vv – vähe vett; *Mullavee koguse puhul on toodud aasta keskmise asemel summa.

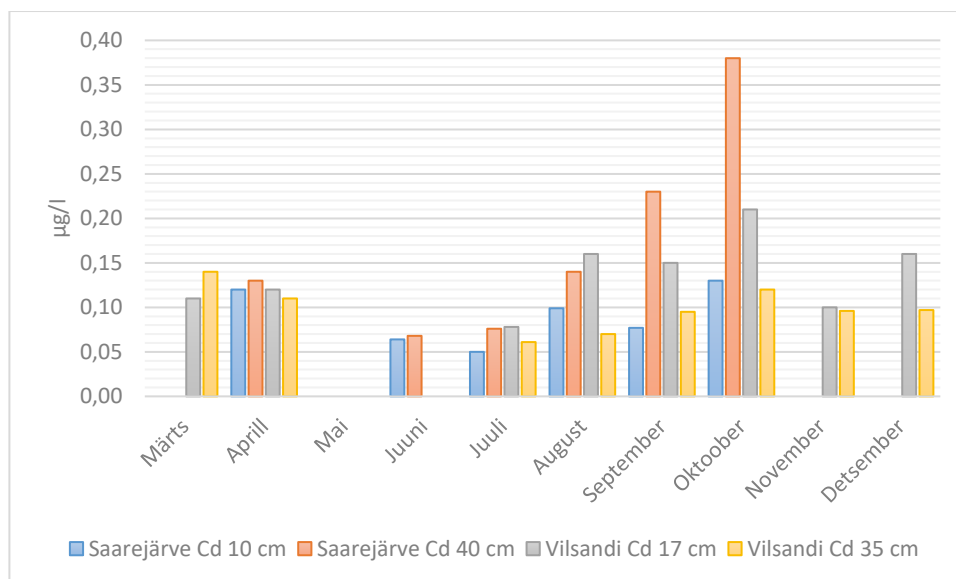


Tabel 26. Metallide, üldlämmastiku ja üldfosfori sisaldused Vilsandil 35 cm sügavusel mullavees.

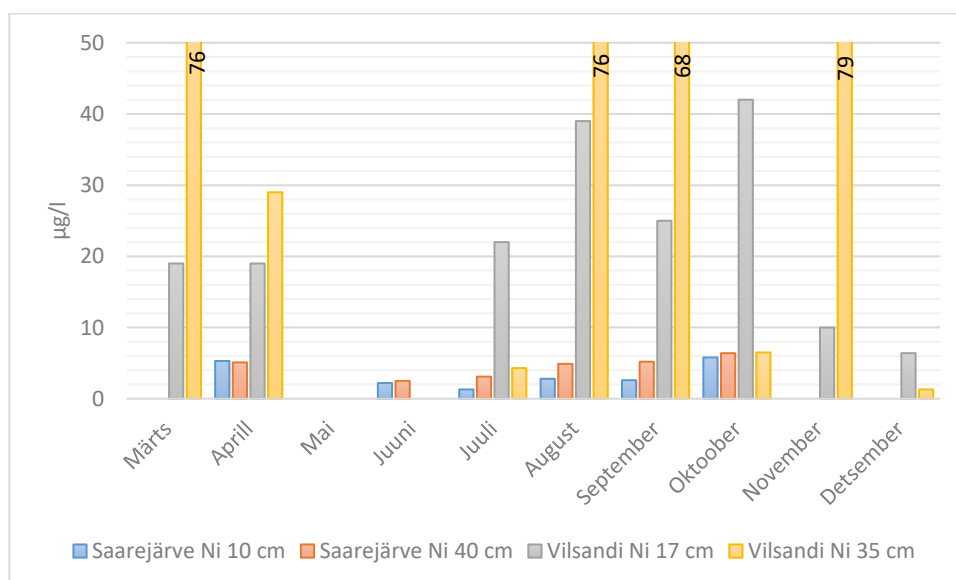
	Nüld (mg/l)	Püld (µg/l)	Al-üld (µg/l)	Mn (µg/l)	Fe (mg/l)	Cd (µg/l)	Cr (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Vooluhulk (l/s)
Märts	2,9	115	1600	5,4	1,3	0,14	3,3	3,0	76	7,7	13	2,7
Aprill	3,9	83	270	3,3	0,23	0,11	1,6	2,7	29	1,9	9,1	0,19
Juuli	2,5	88	540	2,2	0,36	0,061	1,5	2,1	4,3	1,8	9,2	0,60
August	2,8	67	622	2,0	0,42	0,070	2,1	3,3	76	6,2	11	8,3
September	6,9	125	440	0,63	0,49	0,095	2,4	3,0	68	2,9	8,4	1,3
Oktoober	11	76	660	1,1	0,53	0,12	2,8	3,1	6,5	1,7	7,7	2,4
November	2,4	45	910	0,37	0,70	0,096	1,9	1,8	79	4,8	7,1	4,3
Detsember	4,5	82	700	3,9	0,61	0,097	1,4	1,8	1,3	1,7	12	3,8
2023 kaalutud keskmine	4,0	79	865	2,5	0,68	0,098	2,3	2,7	57	4,9	10	2,0
Depositsioon (kg/ha)	2,7	0,055	0,60	0,0018	0,47	0,000068	0,0016	0,0019	0,039	0,0034	0,0072	
2022 kaalutud keskmine	2,7	134	818	3,5	0,71	0,12	2,4	2,6	44	4,4	9,5	1,5
Depositsioon 2022. aastal (kg/ha)	1,5	0,077	0,47	0,0020	0,41	0,000067	0,0014	0,0015	0,025	0,0025	0,0054	

2023. aastal jätkati mõlemal sügavusel kogutud mullavee proovidest raskmetallide sisalduste analüüsimisega. Metallide sisaldused olid kõrgemad aasta teisel poolel just Saarejärvel, Vilsandil olid tulemused rohkem varieeruvad. See tähendab, et kasvuperioodil, kui puude võrad on tihedamad, jõuab Saarejärvel sademetega vähem metalle maapinda. Võrreldes Vilsandiga on Saarejärvel oluliselt kõrgemad mangaani kontsentratsioonid. Raskmetallidest olid kaadmiumi sisaldused Saarejärvel kõrgemad (2022. aastal oli vastupidi), ent esimeses sügavusastmes on aasta keskmised kontsentratsioonid mõlemal kompleksseire alal võrreldavad (Saarejärvel 0,11 µg/l ja Vilsandil 0,14 µg/l) (Joonis 20). Vilsandil esinevad väga kõrged nikli kontsentratsioonid (Joonis 21). Täpne põhjus ei ole teada ja vajaks uurimist, sest ka trendid näitavad nikli sisalduste kasvu. Mullavesi võib mõjutatud olla ka varise lagunemisel vabanevatest ühenditest, mis deponeeruvad pinnasesse ning sammaldest (2020. aastal olid kõrged kontsentratsioonid)⁵. Vilsandil on varises nikli kontsentratsioonid suurenenud viimastel aastatel. Eelnevate aastate tulemustest on näha, et Saarejärve mullavee proovides on väga kõrged mangaani sisaldused.

⁵ Lõhmus, K. 2021. "Kompleksseire Saarejärvel ja Vilsandil 2020. Aruanne." Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ.



Joonis 20. Kaadmiumi sisaldused mullavees 2023. aastal.



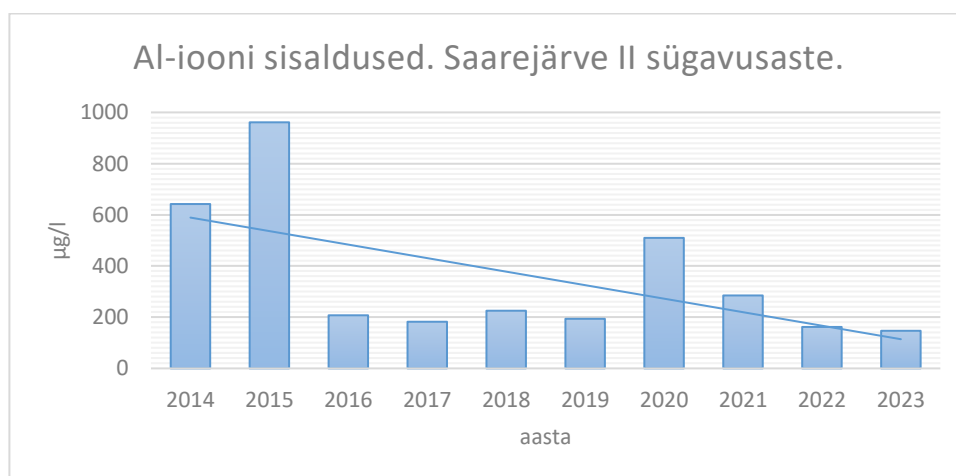
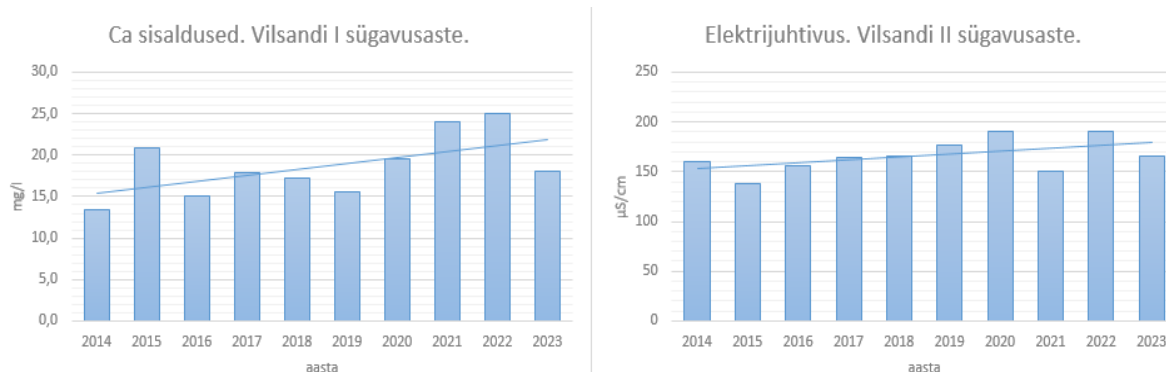
Joonis 21. Nikli sisaldused mullavees 2023. aastal.

Mann - Kendalli mitteparameetrilise trendianalüüsi põhjal (**Tabel 27**) on viimase 10 seireaasta jooksul (aastad 2014-2023) Saarejärve männikus 10 cm mullavee proovides vähenenud $\text{NH}_4\text{-N}$ ja liikuva alumiiniumi sisaldused. Männiku 40 cm mullavee proovides on suurenenud $\text{NH}_4\text{-N}$ ja üldfosfori sisaldused ning vähenenud liikuva alumiiniumi sisaldused (**Joonis 22**). Vilsandi 17 cm mullavee proovides on jätkuvalt tõusutrendis kaltsiumi, magneesiumi ja nikli sisaldused ning elektrijuhtivus, kuid vähenenud kaaliumi sisaldused. Vilsandi 35 cm mullavee proovides on suurenenud magneesiumi ja naatriumi sisaldused ning elektrijuhtivus (**Joonis 23**).


Tabel 27. Saarejärve ja Vilsandi mullavee olulisemad trendid aastatel 2014-2023.

Muutus “↓” vähenemine ja “↑” suurenemine. Olulisustõenäosuse (p) tasemed ***0,001; **0,01; *0,05 ja +0,1.

Seirejaam	Maatriks	Näitaja	Algusaasta	Lõppaasta	Muutus	Trend
Saarejärve	mullavesi 10 cm	NH ₄ -N	2014	2023	↓	*
Saarejärve	mullavesi 10 cm	Al ioon	2014	2023	↓	*
Saarejärve	mullavesi 40 cm	NH ₄ -N	2014	2023	↑	**
Saarejärve	mullavesi 40 cm	P-üld	2014	2023	↑	*
Saarejärve	mullavesi 40 cm	Al ioon	2014	2023	↓	+
Vilsandi	mullavesi 17 cm	Ca	2014	2023	↑	+
Vilsandi	mullavesi 17 cm	Mg	2014	2023	↑	*
Vilsandi	mullavesi 17 cm	K	2014	2023	↓	*
Vilsandi	mullavesi 17 cm	Ni	2014	2023	↑	*
Vilsandi	mullavesi 17 cm	el. Juht.	2014	2023	↑	*
Vilsandi	mullavesi 35 cm	Mg	2014	2023	↑	*
Vilsandi	mullavesi 35 cm	Na	2014	2023	↑	*
Vilsandi	mullavesi 35 cm	el. Juht.	2014	2023	↑	+


Joonis 22. Liikva alumiiniumi sisaldused Saarejärve mullavees 40 cm sügavusel.

Joonis 23. Olulisemad trendid Vilsandi mullavees.



3.6 Vooluvee keemia

Saare järve sissevoolav oja 2023. aasta talvel täielikult ei jäätunud, küll aga oli oja kuiv 9. juuni – 2. juuli, 13. juuli – 22. august ja 6. – 19. september. Järv oli jääs aasta algusest kuni 12. aprillini ja aasta lõpus alates 22. novembrist. Lisaks igakuistele analüüsitavatele näitajatele määrati 2023. aasta kevadel (aprillis) ja sügisel (oktoobris ja novembris) sissevoolust võetud veeproovidest ka raskmetallid (Hg, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn, Cu).

2022. aastal esinesid ojas mitmete näitajate osas keskmisest kõrgemad kontsentratsioonid aasta esimestel kuudel ja aasta teises pooles, 2023. aastal oli kõrgemate tulemuste jaotus läbi aasta varieeruv (**Tabel 28**). Tavaliselt on üldlämmastiku, -fosfori ja lahustunud orgaanilise süsiniku kontsentratsioonid kõrgemad vegetatsiooniperioodil, 2023. aasta kohta seda öelda ei saa. Üldlämmastiku, sulfiidide ja kloriidide kontsentratsioonid olid 2023. aastal kõrgemad kui 2022. aastal. Ilmselt on see tingitud normist erinevast sademete jaotumisest (s.o. sademeterohkemad kuud tavapärasest erinevad) ja põldudelt ning heinamaadelt kraavide kaudu tulevast veest. Kaalutud keskmised on arvatud vastavalt vooluhulgale, lähtudes kompleksseire käsiraamatus kirjeldatud juhendist. Augustis oli proovivõtu ajal oja kuiv, proovi ei olnud võimalik võtta.

Endiselt on sissevoolu proovides väga kõrged kaltsiumi, naatriumi ja magneesiumi sisaldused, mis leevendavad sulfaatse väävli, nitraatse lämmastiku ja lahustunud silikaatide mõju järveveele. 2023. aasta keskmine pH oli 7,4 (2022. aastal samuti pH 7,4), keskmine elektrijuhtivus oli 323 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Kõigis 2023. aasta jooksul kogutud ja analüüsitud proovides jäid liikuva alumiiniumi sisaldused alla määramispiiri ($<50 \mu\text{g}/\text{l}$), üldAl aasta keskmine sisaldus oli 54 $\mu\text{g}/\text{l}$ (**Tabel 29**).

Pinnavees sisalduvate ühendite kontsentratsioonid on osalt seotud sademetega, ent suures osas väljakandega kogu valgalalt.


Tabel 28. Saare järve sissevoolus analüsitavate näitajate kontsentratsioonid 2023. aastal.

	pH	COND (µS/cm)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	NO ₃ N (mgN/l)	NH ₄ N (mgN/l)	N-tot (mg/l)	HCO ₃ (µekv/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ S (mgS/l)	DOC (mg/l)	P-tot (µg/l)
Jaan.	7,3	313	3,9	0,60	47	9,6	1,7	0,034	2,4	2620	4,9	5,6	16	21
Veeb.	7,7	318	4,1	0,63	48	11	1,9	0,044	2,5	2710	4,6	4,7	15	16
Märts	7,8	350	4,3	0,73	53	12	1,6	0,037	2,2	3060	4,3	4,2	21	24
Aprill	7,7	314	3,4	0,68	49	9,3	2,7	0,036	3,0	2670	3,8	3,7	13	15
Mai	7,8	368	4,3	0,88	57	12	1,6	0,079	2,4	3500	3,5	2,8	16	44
Juuni	7,6	363	6,7	2,0	52	14	0,14	0,044	1,1	3700	2,2	1,0	20	43
Juuli	7,5	253	5,4	1,8	35	10	0,041	0,035	0,99	2220	1,8	4,5	20	40
Sept.	7,2	329	5,1	1,5	49	10	<0,020	0,051	1,1	3070	1,8	4,9	18	81
Okt.	7,5	350	5,5	2,8	51	13	<0,020	0,018	0,91	3600	2,3	1,9	21	30
Nov.	7,1	318	4,3	1,2	50	8,7	2,8	0,038	3,9	2200	5,4	11	24	33
Dets.	7,7	336	4,9	0,62	53	11	0,91	0,058	1,9	2900	4,5	7,9	22	29
Aasta keskmine	7,4	323	4,1	0,76	50	10	2,0	0,041	2,7	2688	4,6	6,1	18	24
Ära-kanne kg/ha			1,5	0,27	18	3,6	0,70	0,015	0,96	59	1,6	2,2	6,5	0,0085
2022 keskmine	7,4	293	3,7	0,81	45	10	1,2	0,037	1,8	2678	3,5	2,9	15	26
2022. aasta ära-kanne			1,2	0,25	14	3,1	0,36	0,011	0,56	51	1,1	0,89	4,7	0,0081

Tabel 29. Saare järve sissevoolu füüsikalised näitajad ja lahustunud silikaadid (SiO₂) ning üldalumiiniumi sisaldused 2023. aastal.

	SiO ₂ (mg Si/l)	Al-tot (µg/l)	Äravoolu kiht (mm)	Keskmine veetase (cm)	Keskmine temperatuur (°C)	Keskmine vooluhulk (l/s)
Jaan.	4,3	54	8,0	23	1,0	25
Veeb.	4,4	73	2,9	17	1,0	10
Märts	4,6	<50	11	25	1,2	34
Aprill	4,0	<50	3,4	17	7,1	11
Mai	4,0	<50	0,51	6,8	12	1,6
Juuni	5,1	<50	0,0051	0,50	13	0,017
Juuli	4,7	<50	0,017	0,95	16	0,053



	SiO ₂ (mg Si/l)	Al-tot (µg/l)	Äravoolu kiht (mm)	Keskmine veetase (cm)	Keskmine temperatuur (°C)	Keskmine vooluhulk (l/s)
Aug.	-	-	0,0051	0,44	17	0,016
Sept.	6,1	<50	0,0	0,93	15	0,0
Okt.	6,1	<50	0,58	8,0	7,1	1,9
Nov.	4,5	58	2,6	15	3,9	8,7
Dets.	5,1	100	7,0	20	1,3	22
Aasta kaalutud keskmine	4,4	54	36*	11	8,0	9,6
Ärakanne kg/ha	1,6	0,020				
2022. aasta kaalutud keskmine	4,1	66	31*	12	7,4	8,5
2022. aasta ärakanne (kg/ha)	1,3	0,021				

* Aasta summa

Aprillis ja oktoobris võetud raskmetallide proovides jäid kaadmiumi, plii ja elavhõbeda sisaldused alla analüüsimetodika määramispiiri (Tabel 30).

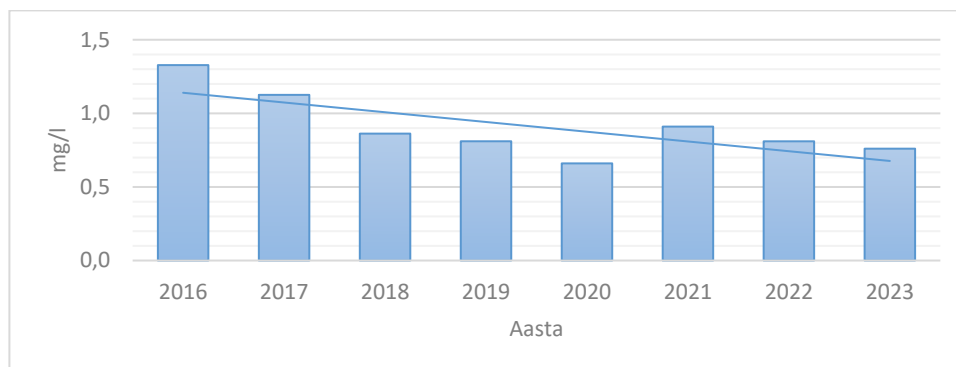
Tabel 30. Saare järve sissevoolu raskmetallide sisaldused 2023. aastal. Kaalutud keskmine on arvatud vastavalt vooluhulgale.

	Mn (µg/l)	Cd (µg/l)	Cr (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Hg (µg/l)
Aprill	8,2	<0,010	0,14	0,85	0,33	<0,050	0,93	<0,0050
Oktoober	0,46	<0,010	0,20	0,63	0,50	<0,050	0,95	<0,0050
November	5,9	<0,010	0,27	2,1	0,64	0,099	5,5	0,0050
Aasta kaalutud keskmine	6,9	0,0017	0,20	1,5	0,49	0,061	3,2	0,0037
Ärakanne g/ha	0,84	0,00061	0,025	0,18	0,059	0,0075	0,39	0,00045
2022. aasta kaalutud keskmine	5,0	0,0022	0,17	0,53	0,37	0,013	0,22	0,0011
2022. a. ärakanne g/ha	0,68	0,00068	0,023	0,073	0,050	0,0041	0,068	0,00034

2023. aastal oli aastane sissevool Saare järve 36 mm (36 liitrit valgla m² kohta) ehk 303139 m³, mis moodustab 6,1% sademete hulgast. Viimastel aastatel on äravoolukihi protsent sademete hulgast jäänud 4-6% ulatusse, sarnaselt eelmisele aastale moodustas äravoolukiht 2018. aastal üle 6% avamaa sademete kogusest.



Mann-Kendalli mitteparameerilise trendianalüüsi põhjal on sissevoolus viimase 8 seireaasta (2016-2023) jooksul langenud kaaliumi sisaldused (**Joonis 24**).



Joonis 24. Kaaliumi kontsentratsioonide muutused Saarejärve sissevoolus.

4 Bioindikatsioon – Bioloogilised allprogrammid

Bioindikatsioon on keskkonnaseisundi ja –olude muutumise iseloomustamine organismide ehk bioindikaatorite ja nende tunnuste (katvus, sagedus, keemiline koostis jm) põhjal.⁶

4.1 Okkakeemia

Okkakeemia eesmärgiks on hinnata puude toiteinetega rikastatust ning õhusaaste mõju seireala taimestikule. Õhusaaste võib põhjustada puude madalat elujõulisust, mis viitab ebaühtlasele puude toitainetega varustatusele. Samuti viivad puude toitainete sisalduse tasakaalust välja mullastikus ebasoodsad keemilised tingimused juurte kasvuosas.

Vilsandi kompleksseireala kõrval kasvavatelt märgistatud puudelt koguti 2023. aasta oktoobri lõpus ja Saarejärve männiku vahetust lähedusest langenud tormimurru okstelt 2023. aasta novembri alguses 1 aasta vanused ja 2 aasta vanused männi okkad. Proovide kogumine toimus vastavalt kompleksseire käsiraamatus kirjeldatud juhendile. Proovid kuivatati, puhastati ja nendest moodustati koondproovid. Samuti moodustati mõlema seireala männi okastest proovid 1000 okka massi määramiseks.

Varasematel aastatel on Vilsandi elusokaste mass olnud nii ühe kui ka kaheaastaste okaste puhul väiksem kui Saarejärvel. 2023. aastal oli Vilsandil 2-aastaste okaste mass aga suurem kui Saarejärvel.

⁶ Chapter 1. In: International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems (2022). Manual for Integrated Monitoring. Edition 7. The Swedish University of Agricultural Sciences.



2023. aasta Saarejärvel kogutud männi okastes olid määratud näitajad optimaalsete sisalduste piirides või sellest kõrgemad (**Tabel 31**). 2-aastaste okaste puhul esineb defitsiiti väevli, fosfori ja vase osas, kuid kaltsiumi ja mangaani sisaldused on kõrged. Lämmastiku, fosfori ja väevli sisaldused olid Saarejärvel madalamad kui Vilsandil. Üllatavalt kõrged olid Saarejärve männi okastes Al, Cr ja Ni kontsentratsioonid. Vilsandi kompleksseirealal kasvavate mändide jooksva aasta okastes võib 2023. aastal täheldada kaaliumi, mangaani ja vase defitsiiti, 2-3 aastaste okaste puhul on näha, et mangaani defitsiit süveneb. Kõrged on jooksva aasta okaste fosfori ja magneesiumi sisaldused, 2-3-aastastel okastel aga kaltsiumi, magneesiumi ja tsiingi sisaldused (**Tabel 32**).

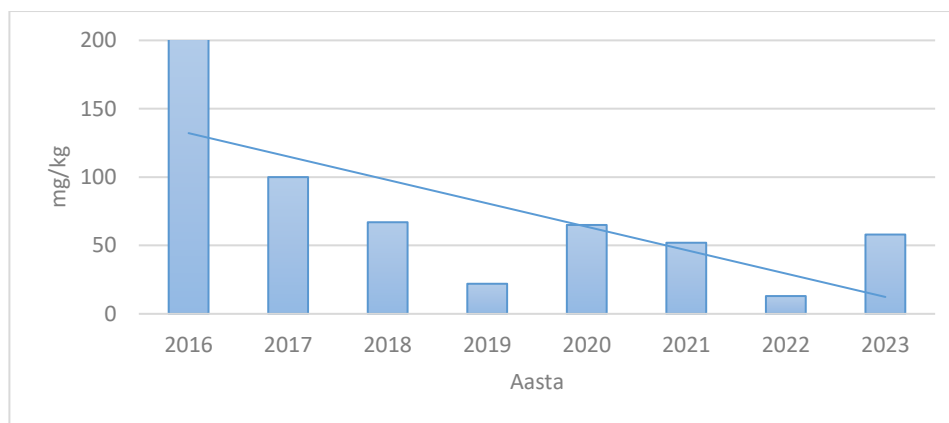
Tabel 31. 1-aastaste ja 2-aastste männiokaste elementide sisaldus Saarejärvel.

		1000 okka mass (g)	S (mg/kg)	N (mg/kg)	P (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	K (mg/kg)	Na (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
2023	1- aastased okkad	9,5	1000	14000	1500	3500	1100	5800	13	67	630	2,7	51
2023	2- aastased okkad	11,2	920	14000	1300	5900	760	5100	21	120	840	2,9	64
2022	1- aastased okkad	10,1	920	12000	1600	2400	830	6200	<10	50	400	3,9	36
2022	2- aastased okkad	13,2	940	11000	1300	5100	650	5300	17	61	710	2,9	40
Defitsiit				<13000	<1400	<2000	<700	<5000			<50	<4	<20
Optimaalne sisaldus			1200- 1600	18000- 20000	1600- 2000	2000- 3000	1200- 1600	6000- 9000			50-500	4-6	20-70
		TOC (mg/kg)	Al (mg/kg)	B (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg	
2023	1- aastased okkad	500000	170	19	0,10	0,85	0,88	0,034	9,3	2,4	4,0	13	
2023	2- aastased okkad	510000	220	21	0,12	16	7,5	0,19	11	2,7	2,4	18	
2022	1- aastased okkad	520000	130	14	0,079	3,0	3,0	0,049	7,5	1,9	5,0	14	
2022	2- aastased okkad	530000	190	16	0,095	4,2	3,3	0,088	8,5	2,1	2,1	17	
Optimaalne sisaldus									6-12	1-3	2-7	8-50	


Tabel 32. 1-aastaste ning 2-3-aastaste männiokaste elementide sisaldus Vilsandil.

	1000 okka mass (g)	S (mg/kg)	N (mg/kg)	P (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	K (mg/kg)	Na (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
2023 1-aastased okkad	9,3	1200	18000	2100	2600	1800	6000	58	38	34	3,0	57
2023 2-3-aastased okkad	13,5	1200	19000	1800	5100	2000	4900	120	68	18	3,1	77
2022 1-aastased okkad	10,7	1300	16000	2100	3000	2000	5100	13	100	34	4,6	55
2022 2-3-aastased okkad	13,6	1300	17000	2000	5600	1900	5300	82	59	22	3,5	67
Defitsiit			<13000	<1400	<2000	<700	<5000			<50	<4	<20
Optimaalne sisaldus		1200-1600	18000-20000	1600-2000	2000-3000	1200-1600	6000-9000			50-500	4-6	20-70
	TOC (mg/kg)	Al (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg		
2023 1-aastased okkad	500000	15	0,020	1,0	0,67	0,041	8,6	3,0	6,9	10		
2023 2-3-aastased okkad	500000	24	0,022	6,5	3,1	0,099	11	3,9	3,7	9,5		
2022 1-aastased okkad	510000	19	0,039	1,9	1,2	0,10	7,6	3,1	5,3	8,0		
2022 2-3-aastased okkad	510000	32	0,033	2,2	1,6	0,17	8,5	3,2	3,0	8,9		
Optimaalne sisaldus							6-12	1-3	2-7	8-50		

Analüüsides viimase kaheksa seireaasta (aastate 2016-2023) Vilsandi seireala 1 aastaste männi elusokastest määratud näitajate kontsentratsioone, on Mann-Kendalli järgi naatriumi kontsentratsioon vähenenud (**Joonis 25**). Saarejärvel ühegi näitaja osas kindlat trendi ei esine.



Joonis 25. Naatriumi sisalduste muutused Vilsandi 1-aastastes okastes.

4.2 Varise keemia

Varisel on oluline osa mõistmaks biogeokeemilist aineriinget, mis seob taimeistiku vee ja mullaga. Varise lagunemisel maapinnal on oluline osa toitainete voogudes ning see määrab ka ära, kui palju orgaanilist ainet tagasi metsapinnasesse jõuab, lisaks mõjutab see metsa tootlikkust ning mulla toitainete sisaldust.

Varise okastest ja muust osast moodustati mõlemal seirealal koondproovid kogu aasta jooksul varise kogujatesse langenud materjalist.

Okaste osakaal Vilsandi seireala varises on olnud aastate (2012-2021) lõikes enam-vähem ühesugune (keskmiselt 51%), kuid 2023. aastal moodustas okaste osakaal varise koguhulgast 42 % ja aasta varem (2022.a.) vaid 39 % (2021. aastal 52%). Varise aastaseks koguseks saadi 2023. aastal 7,3 t/ha (2022. aastal 6,1 t/ha). Varise ülejäänud osa moodustavad varisenud isasõisikud, korbatükid, oksad ja käbid. Varise hulk männikus on tavaliselt teisel poolaastal suurem kui esimesel, kuna põhiline männiokaste varisemine toimub septembri lõpus ja oktoobris. Suvekuudel moodustavad suure osa varisest mändidelt langenud isasõisikud (juunis, juulis). Suure osakaaluga varisest on oksad ja koore tükikesed (aprillis). Saarejärve männiku 2023. aasta varise koguseks saadi 3,6 t/ha (2022. aastal 2,1 tonni hektari kohta). Männi okaste osakaal moodustas kogu aastasest varise hulgast 47% (2022. aastal 22%, 2021. aastal 48%).

Okaste toit- ja saasteainete sisaldus on seotud nende varisemise ajaga. Oluliste makroelementide (lämmastiku, fosfori ja kaaliumi) sisaldus varise okastes (**Tabel 33**) väheneb kasvuperioodi lõpupoole. Kuna toiteelementide hulk on limiteeritud, paigutatakse need enne okaste varisemist puusiseselt ümber, nähtust nimetatakse translokatsiooniks. Saarejärvel jäävad enamike näitajate kontsentratsioonid nii varise okastes kui ka muus osas madalamaks kui Vilsandil, kuid nii varise muus osas kui ka okastes on Saarejärvel kõrgemad mangaani ja alumiiniumi sisaldused.


Tabel 33. Vilsandi ja Saarejärve varise määratud näitajate sisaldused 2023. aastal.

	t/ha	S (mg/kg)	N (mg/kg)	P (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	K (mg/kg)	Na (mg/kg)	Mn (mg/kg)
2023 Vilsandi varise okkad	3,1	630	6100	570	6000	1000	1700	190	290
2023 Vilsandi varise muu osa	4,2	670	7500	980	4800	720	1600	150	69
2022 Vilsandi varise okkad	2,4	810	7100	540	6600	1200	1800	260	310
2022 Vilsandi varise muu osa	3,7	980	9400	870	6700	900	1700	180	92
2023 Saarejärve varise okkad	1,7	430	5300	440	6900	510	1400	47	980
2023 Saarejärve varise muu osa	1,9	460	5300	360	4500	320	700	33	130
2022 Saarejärve varise okkad	0,46	580	5900	620	6200	590	2000	34	1100
2022 Saarejärve varise muu osa	1,6	810	6500	690	6900	440	930	32	210
	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	TOC (mg/kg)	Al (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)
2023 Vilsandi varise okkad	72	2,0	58	500000	120	0,16	3,5	1,6	0,20
2023 Vilsandi varise muu osa	120	5,2	37	510000	210	0,41	2,8	1,8	0,79
2022 Vilsandi varise okkad	73	2,4	58	520000	120	0,11	2,6	2,2	0,18
2022 Vilsandi varise muu osa	170	6,1	42	530000	250	0,70	1,9	1,6	1,2
2023 Saarejärve varise okkad	59	1,2	54	510000	190	0,11	0,73	0,53	0,14
2023 Saarejärve varise muu osa	130	2,9	32	500000	310	0,27	1,1	1,1	0,81
2022 Saarejärve varise okkad	92	1,8	55	520000	230	0,13	3,8	3,5	0,25
2022 Saarejärve varise muu osa	290	4,5	54	520000	460	0,38	2,3	1,8	1,8



4.3 Mikroobne lagunemine

Mikroobse lagunemise programmi täitmiseks asetatakse Saarejärvel ja Vilsandil igal aastal varisekihti (umbes 5 cm sügavusele) 12 α -tselluloosiriba (vastavalt kompleksseire juhendile 3x5cm suurused ristkülikud, mis on 1 mm paksused) seireala kohta. Vastavalt juhendile tuleb ühte võrkkotikesse asetada 4 tselluloosiriba. Need jäetakse üheks aastaks lagunema. Samuti pannakse varisekihti 3x4 grammi eelneva aasta varise okkaid, mis jäetakse lagunema vastavalt 1ks, 2ks ja 3ks aastaks.

Võrreldes Saarejärvega, lagunevad nii α -tselluloosiribad kui ka varise okkad Vilsandil kiiremini (**Tabel 34**). See on tingitud erinevatest keskkonnatingimustest (Vilsandil on varisekiht paksem, niiskust on rohkem ja elustik on liigirikkam).

Tabel 34. Varise okaste ja α -tselluloosiribade massikao % Saarejärve ja Vilsandi kompleksseire aladel 1, 2 ja 3 aasta jooksul.

	Saarejärve			Vilsandi		
Lagunemise aeg	1 aasta	2 aastat	3 aastat	1 aasta	2 aastat	3 aastat
α -tselluloos	48	-	-	91	-	-
varise okkad	39	62	57	48	58	55

Tavaliselt on lagunemine kõige intensiivsem esimesel aastal. Okkavarise lagunemise edasist massikadu ei ole võimalik võrrelda. 2023. aasta suvi oli erinev kahest eelnevast aastast, oli küll pikalt kuiv kuid sademeid esines suuremal hulgal. Üks ja kaks aastat lagunenud okaste massikadu jääb samale tasemele eelnevate aastatega. 3 aastat lagunenud okaste massikadu on väiksem ilmselt seetõttu, et okaste tselluloosi ja ligniini sisaldus erineb oluliselt. Ilma analüüsimate on see aga oletus. Seega võiks edaspidi varise okastest analüüsida ka tselluloosi ja ligniini sisaldusi. Nii saab lagunemisprotsessi paremini hinnata ning kaudselt näitab see ka kliima mõju ökosüsteemile. Teise ja kolmanda aasta lagundusandmete tõlgendamise muudab keerulisemaks see, et kord üles võetud proove peale kaalumist enam maha tagasi ei saa panna, seega pole teada iga üksiku 2 või 3 aastat lagunenud proovi täpne massikadu esimesel aastal.



5 Kokkuvõte

Kompleksseirega alustati Eestis kahel seirealal, Saarejärvel ja Vilsandil juba 1994. aastal. Seega on mõlemal alal tööd tehtud 30 aastat. Vilsandil on teostanud seiret Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, aastatel 1994-2015 teostas kompleksseiret Saarejärvel IM SAARE. Alates 2016. aastast on kompleksseire teostajaks nii Saarejärve kui Vilsandi seirealadel Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ. 2019. aastal lõpetati seiretööd Saarejärve kuusikus ning jätkati seiretöödega muudetud mahus Saarejärve männikus ja Vilsandi kompleksseirealal.

2023. aastal mõõdeti Vilsandi sademete koguseks 772 mm ja Saarejärvel 583 mm. Kõige kuivem kuu oli nii Vilsandil kui ka Saarejärvel mai. Kõige sademeterohkem kuu oli Saarejärvel oktoober (94 mm) ja Vilsandil august (150 mm).

Saare järve sissevoolav oja 2023. aastal täielikult ei jäätunud, küll aga oli oja kuiv mitmel perioodil suvekuudel. Järv oli jääs aasta algusest kuni 12. aprillini ja aasta lõpus alates 22. novembrist. Aastane sissevool Saare järve oli 36 mm (36 liitrit valgla m² kohta) ehk 303139 m³, mis moodustab 6,1% avamaa sademete hulgast. Trendianalüüsi põhjal on sissevoolus viimase 8 seireaasta (2016-2023) jooksul hakanud langema kaaliumi sisaldused.

Vilsandi avamaa sademete kaalutud keskmine pH oli 5,2 ja Saarejärvel 5,7. Mitmete analüüsitud näitajate aasta keskmised kontsentratsioonid Saarejärvel jäid 2022. aasta tulemustega võrreldes samale tasemele. Vilsandil olid aasta keskmised kontsentratsioonid 2022. aastaga võrreldes samal tasemel või kõrgemad. Erandiks olid kaadmium, üldlämmastik ja NH₄-N, mille keskmised kontsentratsioonid avamaa sademetes oli madalamad. Trendianalüüsi põhjal on Saarejärve avamaa sademetes viimase kümne seireaasta jooksul jätkuvalt langustrendis NO₃-N ja SO₄-S kontsentratsioonid. Vilsandil on vähenenud NH₄-N, NO₃-N, Pb ja üldlämmastiku sisaldused, kuid tõusnud pH, suurenenud Cl, Mn sisaldused ja sademete hulk.

Vilsandil mõõdeti 2023. aastal võravee koguseks 439 mm ja Saarejärvel 443 mm. Vilsandi võravee keskmine pH oli 5,2 ja Saarejärvel 5,1. Saarejärve võravees jäid suvekuudel nitraatlämmastiku kontsentratsioonid alla analüüsimeetodika määramispiiri. Endiselt on pikema aegrea põhjal täheldatav sulfaatse väevli vähenemine Saarejärvel, lisaks näitavad langustrendi ka kaltsiumi ja lahustunud orgaanilise süsiniku sisaldused. Vilsandil on viimase 10 aasta lõikes langustrendis kaadmiumi, plii ja üldfosfori sisaldused. Vilsandil on võravees suurenenud pH, Saarejärvel ühegi näitaja osas suurenemise trendi ei esine.

2023. aastal oli Vilsandil tüvevee pH 4,0 ja elektrijuhtivus 244 µS/m. Saarejärve tüvevee keskmine pH oli 4,1 ja elektrijuhtivus 58 µS/cm. Eelneva aasta tulemustega võrreldes suurenesid tüvevee proovides Saarejärvel nii üldlämmastiku kui ka nitraatlämmastiku aasta keskmised sisaldused, kuigi ammonium- ja nitraatlämmastiku sisaldused jäid mitmel kuul alla meetodika määramispiiri. Vilsandil olid üldlämmastiku ja lahustunud orgaanilise süsiniku sisaldused kõrgemad kui Saarejärvel. Igakuised anioonide ja kationide kontsentratsioonid on Vilsandi tüvevee proovides kõrgemad kui Saarejärvel ning kohati ka suurema varieeruvusega. Saarejärve tüvevee proovides on mangaani ja tsingi sisaldused kõrgemad kui Vilsandil. Vilsandi tüvevees on jällegi vase ja nikli sisaldused oluliselt kõrgemad kui Saarejärve tüvevees.

Mullavett kogunes Vilsandil 17 cm sügavusel 109 mm ja 35 cm sügavusel 69 mm. Mõlemal sügavusel kogutud mullavee proovides oli pH enamasti üle 7,0, kuid kõige sademeterohkematel kuudel jäi pH



vahemikku 6,0-6,8. Aasta keskmine elektrijuhtivus oli mullavee proovides vastavalt 152 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja 166 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Saarejärve männikus kogunes mullavett 54 mm ja 52 mm. Mullavee proovid mõlemal sügavusel olid madala pH-ga. Aasta keskmine mullavee pH oli 10 cm sügavusel 4,0 ja 40 cm sügavusel 3,9. Saarejärvel on II sügavusastme mullavee proovides viimase 10 aasta jooksul trendianalüüsi põhjal oluliselt vähenenud liikuva alumiiniumi sisaldused. Vilsandi mullavees näitavad tõusutrendi kaltsiumi, magneesiumi, naatriumi ja nikli sisaldused.

Vilsandi kompleksseirealal kasvavate mändide jooksva aasta okastes võib 2023. aastal täheldada kaaliumi, mangaani ja vase defitsiiti, 2-3 aastaste okaste puhul on näha, et mangaani defitsiit süveneb. Kõrged on jooksva aasta okaste fosfori ja magneesiumi sisaldused, 2-3-aastastel okastel puhul aga kaltsiumi, magneesiumi ja tsiingi sisaldused. Saarejärvel kogutud männi okastes olid näitajate kontsentratsioonid optimaalsete sisalduste piirides või kõrgemad. Samas 2-aastaste okaste puhul esineb defitsiiti väävli, fosfori ja vase sisaldustes, kuid kaltsiumi ja mangaani sisaldused on kõrged. Lämmastiku, fosfori ja väävli sisaldused olid Saarejärvel madalamad kui Vilsandil. Üllatavalt kõrged olid Saarejärve männi okastes Al, Cr ja Ni kontsentratsioonid.

Varise aastaseks koguseks Vilsandil saadi 2023. aastal 7,3 t/ha, Saarejärvel aga 3,6 t/ha. Okaste osakaal oli vastavalt 42 % ja 47 %. Saarejärvel jäävad enamike näitajate kontsentratsioonid nii varise okastes kui ka muus osas madalamaks kui Vilsandil, kuid nii varise muus osas kui ka okastes on Saarejärvel kõrgemad mangaani ja alumiiniumi sisaldused. Lisaks olid Vilsandil kroomi kontsentratsioonid kõrgemad kui eelmisel seireaastal.

Saarejärvel pandi novembri alguses maha uued lagundusproovid ja võeti üles 1, 2 ja 3 aastat maas olnud proovid. Vilsandil vahetati proovid septembri alguses. Vilsandi seirealal lagunes 1 aasta jooksul ära suurem osa tselluloosist (kaalukadu 91%), Saarejärvel lagunes varisekihti pandud tselluloosist 48 %. Okkaproovidest lagunes Vilsandil 1 aasta järel 48 %, 2 aasta järel 58 % ja 3 aasta järel 55 %. Saarejärvel lagunes 1 aastaga männiokastest 39 %, 2 aastaga 62 % ja 3 aastaga 57%.